

(19) 日本国特許庁 ( J P )

(12) 公開特許公報 ( A )

(11) 特許出願公開番号

特開2003－233047

( P 2 0 0 3 － 2 3 3 0 4 7 A )

(43) 公開日 平成15年 8 月 22 日 (2003. 8. 22)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G02F 1/035		G02F 1/035	2H047
G02B 6/12		1/03 502	2H079
G02F 1/03	502	G02B 6/12	H

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全19頁)

(21) 出願番号 特願2002－31304 ( P 2002－31304 )

(22) 出願日 平成14年 2 月 7 日 (2002. 2. 7)

(71) 出願人 000005223  
富士通株式会社  
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号  
(72) 発明者 土居 正治  
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号 富士通株式会社内  
(72) 発明者 杉山 昌樹  
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号 富士通株式会社内  
(74) 代理人 100092978  
弁理士 真田 有

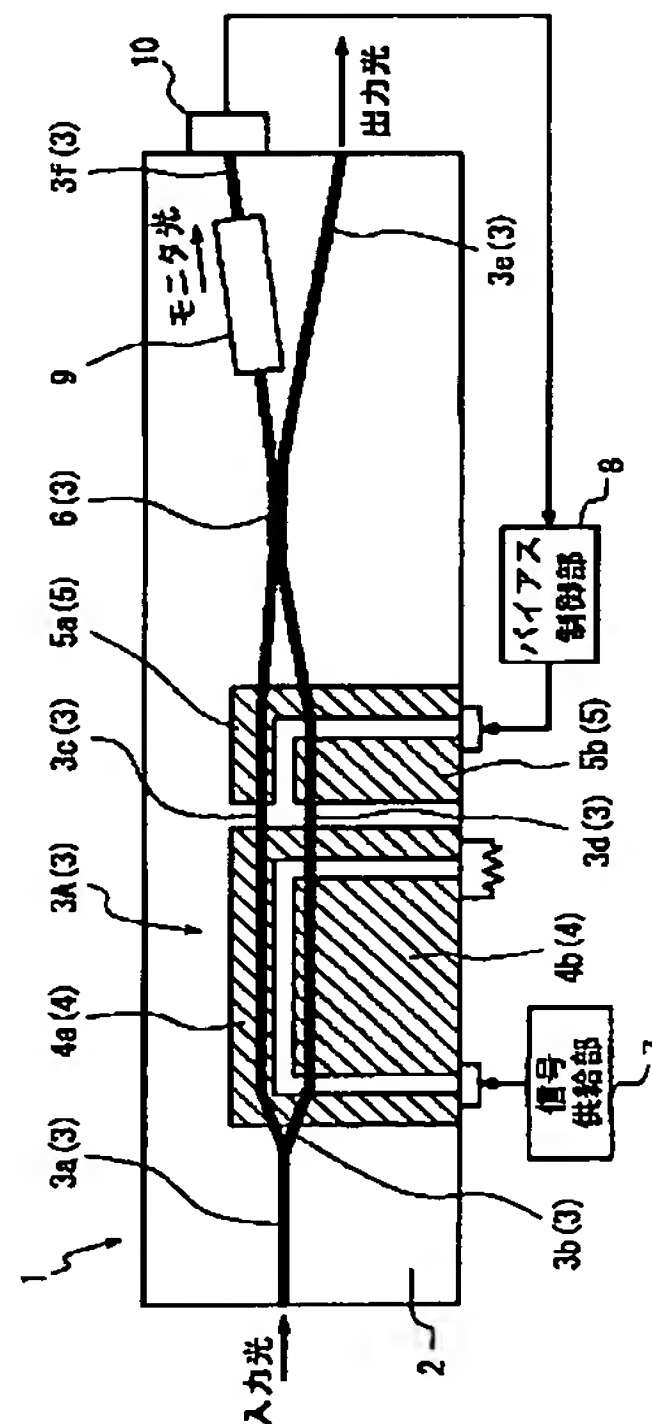
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路デバイス及び光変調器

(57) 【要約】

【課題】 光検出部として採用しうる部品の選択の幅が広がるようにするとともに、モニタ光を正確、かつ確実に検出できるようにし、さらにバイアス制御に用いるのに適正な強度のモニタ光が得られるようにする。

【解決手段】 電気光学効果を有する基板 2 と、基板上に形成される光導波路 3 と、光導波路に設けられる電極 4 と、光導波路から出力される光の一部をモニタ光として導くモニタ用光導波路 3 f と、モニタ用光導波路に設けられ、モニタ光を減衰させる減衰部 9 と、モニタ用光導波路を通じて導かれ、減衰部によって減衰されたモニタ光の強度を検出する光検出部 1 0 とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電気光学効果を有する基板と、  
前記基板上に直列に形成される複数のマッハツェンダ型  
又は方向性結合器型の光導波路と、  
前記複数の光導波路毎に独立して設けられる複数の電極  
と、  
前記複数の光導波路から出射される光の強度をそれぞれ  
独立して検出する複数の光検出部とを備えることを特徴  
とする、光導波路デバイス。

【請求項 2】 前記複数の光導波路のそれぞれの出力側 10  
に設けられる複数の導波路型カプラと、  
前記複数の導波路型カプラの一方のポートに連結される  
複数のモニタ用光導波路とを備え、  
前記複数の光検出部が、それぞれ対応するモニタ用光導  
波路を通じて導かれるモニタ光の強度を検出することを  
特徴とする、請求項 1 記載の光導波路デバイス。

【請求項 3】 電気光学効果を有する基板と、  
前記基板上に直列に形成される第 1、第 2 マッハツェン  
ダ型光導波路と、  
前記第 1 マッハツェンダ型光導波路に設けられ、クロッ 20  
ク信号が供給される第 1 信号電極と、  
前記第 2 マッハツェンダ型光導波路に設けられ、データ  
信号が供給される第 2 信号電極と、  
前記第 1 マッハツェンダ型光導波路に設けられ、バイア  
ス電圧を印加される第 1 バイアス電極と、  
前記第 2 マッハツェンダ型光導波路に設けられ、バイア  
ス電圧を印加される第 2 バイアス電極と、  
前記第 1 マッハツェンダ型光導波路から出力される光の  
強度を検出する第 1 モニタ P D と、  
前記第 2 マッハツェンダ型光導波路から出力される光の 30  
強度を検出する第 2 モニタ P D とを備えることを特徴と  
する、光変調器。

【請求項 4】 前記第 1 マッハツェンダ型光導波路又は  
前記第 2 マッハツェンダ型光導波路の出力側に設けられ  
る 3 d B カプラと、  
前記第 1 マッハツェンダ型光導波路又は前記第 2 マッハ  
ツェンダ型光導波路から出力される光のうち前記 3 d B  
カプラによって分岐された光をモニタ光として前記第 1  
モニタ P D 又は前記第 2 モニタ P D へ導くモニタ用光導  
波路と、  
前記モニタ用光導波路を伝播するモニタ光を減衰させる  
減衰部とを備えることを特徴とする、請求項 3 記載の光  
変調器。

【請求項 5】 電気光学効果を有する基板と、  
前記基板上に形成される光導波路と、  
前記光導波路に設けられる電極と、  
前記光導波路から出力される光の一部をモニタ光として  
導くモニタ用光導波路と、  
前記モニタ用光導波路に設けられ、モニタ光を減衰させ  
る減衰部と、

前記モニタ用光導波路を通じて導かれ、前記減衰部によ  
って減衰されたモニタ光の強度を検出する光検出部とを  
備えることを特徴とする、光導波路デバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信に用いられ  
る光導波路デバイス及び光変調器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、超高速・広帯域の光通信ネットワ  
ークシステムを実現するために、外部変調方式の光変調  
器（外部変調器）に対する期待が高まっている。特に、  
光信号の長距離伝送を可能とするために、広帯域での高  
速変調特性及び耐分散特性に優れている、 $\text{LiNbO}_3$   
（ニオブ酸リチウム、リチウムナイオベート；LN）を  
用いたマッハツェンダ型（MZ）の光変調器（MZ 型 L  
N 光変調器）の開発が進められている。

【0003】この MZ 型 LN 光変調器では、温度ドリフ  
トや DC ドリフト等によって動作点変動してしまうた  
め、これを補償するために、バイアス電圧を印加するよ  
うにしている。一般に、光変調器の出力側にモニタ用 P  
D（フォトディテクタ、光検出部）を設け、MZ 型光導  
波路の出力側の Y 分岐光導波路の分岐部分から放射され  
る放射光をモニタ光として検出し、これに基づいてバイ  
アス電圧を制御するフィードバック制御を行なうように  
している。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の  
ように、モニタ光として放射光を用いる場合、放射光の  
強度は弱いため、光強度の検出に用いるモニタ用 P D と  
して感度の高いものを用いる必要があり、モニタ用 P D  
の選択の幅が狭い。また、モニタ用 P D によって検出さ  
れる信号の処理も制限されたものとなる。

【0005】このため、図 18 に示すように、MZ 型光  
導波路 110 の出力側に例えば 3 d B 方向性結合器 111  
を設け、この 3 d B 方向性結合器 111 の出力側の一  
のポートにモニタ用光導波路 112 を連結し、このモニ  
タ用光導波路 112 を通じて導かれるモニタ光の強度を  
検出して、バイアス電圧のフィードバック制御に用いる  
ことも考えられる。

40 【0006】しかしながら、このような方法でモニタ光  
を取り出すと、図 19 に示すように、モニタ光の強度が  
出力光（信号光）の強度と同じになってしまうため、入  
力光強度が大きい場合、モニタ光の強度としては大き  
すぎて、モニタ用 P D が壊れてしまう可能性がある。と  
ころで、最近では、クロック信号による変調とデータ  
信号による変調とを直列に連結した 2 段のマッハツェン  
ダ型光変調器によって行なって、R Z (Return to Zero) 信号  
を生成する R Z 光変調器が提案されている。

50 【0007】このような R Z 光変調器では、例えば図 2  
0 (A)、(B) に示すように、2 段のマッハツェンダ

型光変調器 1 1 3, 1 1 4 のうち、後段に設けられるマッハツェンダ型光変調器 1 1 4 の出力側の Y 分岐光導波路 1 1 5 の分岐部分から放射される放射光のみをモニタ光としてモニタ PD 1 1 6 によって検出して、これに基づいて、2 段のマッハツェンダ型光変調器 1 1 3, 1 1 4 の双方のバイアス制御を行なうことが考えられる。

【0008】しかしながら、このような方法では、正確なバイアス制御を行なうのは難しく、また、制御が複雑になる。本発明は、このような課題に鑑み創案されたもので、光検出部として採用しうる部品の選択の幅が広がるようにするとともに、モニタ光を正確、かつ確実に検出できるようにし、さらにバイアス制御に用いるのに適正な強度のモニタ光が得られるようにした、光導波路デバイス及び光変調器を提供することを目的とする。

【0009】また、バイアス制御を容易、かつ、正確に行なえるようにすることも目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】このため、請求項 1 記載の本発明の光導波路デバイスは、電気光学効果を有する基板と、基板上に直列に形成される複数のマッハツェンダ型又は方向性結合器型の光導波路と、複数の光導波路毎に独立して設けられる複数の電極と、複数の光導波路から出射される光の強度をそれぞれ独立して検出する複数の光検出部とを備えることを特徴としている。

【0011】特に、複数の光導波路のそれぞれの出力側に設けられる複数の導波路型カップラと、複数の導波路型カップラの一方のポートに連結される複数のモニタ用光導波路とを備え、複数の光検出部が、それぞれ対応するモニタ用光導波路を通じて導かれるモニタ光の強度を検出するように構成するのが好ましい（請求項 2）。請求項 3 記載の本発明の光変調器は、電気光学効果を有する基板と、基板上に直列に形成される第 1, 第 2 マッハツェンダ型光導波路と、第 1 マッハツェンダ型光導波路に設けられ、クロック信号が供給される第 1 信号電極と、第 2 マッハツェンダ型光導波路に設けられ、データ信号が供給される第 2 信号電極と、第 1 マッハツェンダ型光導波路に設けられ、バイアス電圧を印加される第 1 バイアス電極と、第 2 マッハツェンダ型光導波路に設けられ、バイアス電圧を印加される第 2 バイアス電極と、第 1 マッハツェンダ型光導波路から出力される光の強度を検出する第 1 モニタ PD と、第 2 マッハツェンダ型光導波路から出力される光の強度を検出する第 2 モニタ PD とを備えることを特徴としている。

【0012】特に、第 1 マッハツェンダ型光導波路又は第 2 マッハツェンダ型光導波路の出力側に設けられる 3 dB カプラと、第 1 マッハツェンダ型光導波路又は第 2 マッハツェンダ型光導波路から出力される光のうち 3 dB カプラによって分岐された光をモニタ光として第 1 モニタ PD 又は第 2 モニタ PD へ導くモニタ用光導波路と、モニタ用光導波路を伝播するモニタ光を減衰させる

減衰部とを備えるものとするのが好ましい（請求項 4）。

【0013】請求項 5 記載の本発明の光導波路デバイスは、電気光学効果を有する基板と、基板上に形成される光導波路と、光導波路に設けられる電極と、光導波路から出力される光の一部をモニタ光として導くモニタ用光導波路と、モニタ用光導波路に設けられ、モニタ光を減衰させる減衰部と、モニタ用光導波路を通じて導かれ、減衰部によって減衰されたモニタ光の強度を検出する光検出部とを備えることを特徴としている。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、図面により、本発明の実施の形態について説明する。

（第 1 実施形態の説明）まず、本発明の第 1 実施形態にかかる光導波路デバイスについて、図 1 ～図 10 を参照しながら説明する。

【0015】以下、本発明の光導波路デバイスを適用して構成される光変調器について、図 1 を参照しながら説明する。本光変調器は、ニオブ酸リチウム（リチウムナイオベート,  $\text{LiNbO}_3$ ; LN）を用いたマッハツェンダ型光変調器（MZ 型 LN 光変調器）である。このような光変調器は例えば光送信機に備えられる。

【0016】つまり、図 1 に示すように、本 MZ 型 LN 光変調器 1 は、ニオブ酸リチウム結晶を結晶方位の Z 軸方向にカット（Z 軸カット）して切り出されたニオブ酸リチウム結晶基板（LN 基板）2 上に、マッハツェンダ干渉計型（マッハツェンダ型）光導波路（MZ 型光導波路）3 A を含む光導波路 3 を形成し、さらに、MZ 型光導波路 3 A の近傍に、データ信号（主信号）を入力する主電極 4 及びバイアス電圧を印加するバイアス電極 5 を形成したものとして構成される。

【0017】なお、ここでは、基板 2 としてニオブ酸リチウム結晶を用いているが、基板 2 は電気光学効果を有するものであれば良く、例えばタンタル酸リチウム（ $\text{LiTaO}_3$ ; LT）結晶等の他の強誘電体結晶を用いることもできる。ここで、 $\text{LiNbO}_3$  結晶や  $\text{LiTaO}_3$  結晶などの電気光学効果を有する基板を用いた MZ 型 LN 光変調器 1 は、例えば  $\text{LiNbO}_3$  結晶や  $\text{LiTaO}_3$  結晶等からなる基板上の一部に金属膜を形成し、熱拡散させて光導波路を形成するか、又は、金属膜をパターニングした後に、安息香酸中でプロトン交換するなどして光導波路を形成した後、光導波路の近傍に電極を設けることで形成される。

【0018】具体的には、例えば、 $\text{LiNbO}_3$  結晶を基板に用いる場合、基板上にチタン膜（Ti 膜）を所望の光導波路形状に合わせてパターニングし、このようにパターニングした状態で、1050℃で 7 ～ 10 時間加熱して熱拡散させることによって、光導波路を形成する。本実施形態では、光導波路 3 は、図 1 に示すように、入力側光導波路 3 a が Y 分岐光導波路（分岐光導波



路) 3 b を介して分岐されて 2 つの平行な直線状光導波路 3 c, 3 d に連結され、さらにこれらの直線状光導波路 3 c, 3 d が 3 d B カプラ (導波路型カプラ) 6 を介してそれぞれ出力側光導波路 3 e 及びモニタ用光導波路 3 f に連結されるように形成されている。なお、Y 分岐光導波路 3 b, 直線状光導波路 3 c, 3 d, 3 d B カプラ 6 によって MZ 型光導波路 3 A が構成される。

【0019】ここでは、3 d B カプラ 6 は、導波路型の光カプラ (導波路型カプラ) として形成されている。この 3 d B カプラ 6 としては、例えば対称型のものが用いられ、一般的には導波路型の方向性結合器型カプラ (3 d B 方向性結合器) が用いられる。より好ましくは、波長依存性の少なく、歩留まりの良い交差導波路型カプラ (3 d B 交差導波路型カプラ) を用いる。

【0020】このように、本実施形態にかかる光変調器 1 は、1 つの MZ 型 LN 光変調器 3 A と、1 つの 3 d B カプラ 6 とを 1 チップ内に一体に集積化した構造となっている。また、主電極 4 は、図 1 に示すように、一部が MZ 型光導波路 3 A を構成する一方の直線状光導波路 3 c と重なるように設けられた信号電極 4 a と、一部が MZ 型光導波路 3 A を構成する他方の直線状光導波路 3 d と重なるように設けられた接地電極 4 b とを備えるものとして構成される。この主電極 4 を構成する信号電極 4 a には、データ信号 (主信号) を供給するデータ信号供給部 (信号供給部) 7 が連結されている。

【0021】そして、主電極 4 にデータ信号供給部 7 からデータ信号を供給して、直線状光導波路 3 c, 3 d にデータ信号に応じた電圧 (データ信号電圧) を印加することで、直線状光導波路 3 c, 3 d に電界を生じさせて、直線状光導波路 3 c, 3 d の屈折率を変化させる。これにより、直線状光導波路 3 c, 3 d のそれぞれを伝播する光に位相差を生じさせ、これらの位相差の生じた光を 3 d B カプラ 6 で合波干渉させることで、出力側光導波路 3 e を介して、データ信号に応じて変調された出力光 (変調信号) が出力されるようにしている。

【0022】なお、本実施形態では、図 1 に示すように、信号電極 4 a の一方の端部 (出力側端部、終端) と接地電極 4 b の一方の端部 (出力側端部、終端) とを抵抗 (終端器) で接続することで進行波電極とし、信号電極 4 a の他方の端部 (入力側端部) と接地電極 4 b の他方の端部 (入力側端部) とに接続されるデータ信号供給部 7 (電源回路や駆動回路を含む) を介してデータ信号としてのマイクロ波 (マイクロ波信号, 高周波, 高周波信号) を供給して、これに応じた電圧が直線状光導波路 3 c, 3 d に印加されるようにしている。このように、本光変調器 1 は、高速で駆動することができるようになっている。

【0023】特に、主電極 4 の断面形状を変えることで直線状光導波路 3 c, 3 d の実効屈折率を調節し、直線状光導波路 3 c, 3 d を伝播する光と、主電極 4 に供給

されるマイクロ波の速度とを整合させることで、広帯域の光応答特性を得ることができるようになる。また、バイアス電極 5 は、一部が MZ 型光導波路 3 A を構成する一方の直線状光導波路 3 c と重なるように設けられた電極 5 a と、一部が MZ 型光導波路 3 A を構成する他方の直線状導波路 3 d と重なるように設けられた接地電極 5 b とを備えるものとして構成される。このバイアス電極 5 には一般的にバイアス制御部 (例えばバイアス制御回路) 8 が接続される。

【0024】そして、バイアス電極 5 にバイアス制御部 8 を通じてバイアス電圧 (DC 電圧) を供給することで、光導波路 3 c, 3 d に対してバイアス電圧 (DC 電圧) が印加されるようになっている。ここでは、後述するように、バイアス制御部 8 によって、モニタ光の強度に基づいてバイアス電圧を制御するフィードバック制御を行なうことで、MZ 型 LN 光変調器 1 の動作点電圧の変動を補償する。

【0025】本実施形態では、Z 軸カットのニオブ酸リチウム結晶基板 2 を用いており、Z 軸方向の電界による屈折率変化を利用するため、主電極 4, バイアス電極 5 は、直線状光導波路 3 c, 3 d の真上に形成される。このように、本実施形態では、主電極 4, バイアス電極 5 を、直線状光導波路 3 c, 3 d の真上にパターンニングするため、直線状光導波路 3 c, 3 d 中を伝搬する光が各電極 4, 5 によって吸収されてしまうおそれがある。これを防ぐために、本実施形態では、LN 基板 2 と各電極 4, 5 との間にバッファ層を形成している。このバッファ層は例えば SiO<sub>2</sub> 膜として形成すれば良く、その厚さは、0.2 ~ 1 μm 程度とすれば良い。

【0026】このため、本光変調器 1 は、主電極 4 及びバイアス電極 5 と基板 2 との間に、基板 2 の厚さと比べて厚さの薄いバッファ層を積層したものとして構成される。なお、本実施形態では、主電極 4, バイアス電極 5 は、いずれも 1 つの信号電極を有するシングル電極とし、光変調器 1 をシングル駆動型の光変調器として構成しているが、これに限られるものではない。例えば、駆動電圧を低減するためには、2 つの信号電極を有するデュアル電極とし、デュアル駆動型の光変調器として構成すれば良い。

【0027】ところで、本実施形態にかかる光変調器 1 では、図 1 に示すように、MZ 型光導波路 3 A の出力側には 3 d B カプラ 6 が設けられており、この 3 d B カプラ 6 の出力側の一のポートに出力側光導波路 (信号用光導波路) 3 e が連結されている。一方、本実施形態にかかる光変調器 1 では、図 1 に示すように、3 d B カプラ 6 の出力側の他のポートにはモニタ用光導波路 3 f が連結されており、このモニタ用光導波路 3 f は、光変調器 (チップ) 1 の出力端まで延びている。また、モニタ用光導波路 3 f には、後述するように、減衰部 9 が設けられている。そして、モニタ用光導波路 3 f の端部には、

モニタPD（フォトディテクタ、バイアス制御用モニタPD、光検出部）10が設けられている。これにより、MZ型光変調器1で変調された出力光のうち、出力側光導波路3eの相補信号として、3dBカプラ6によってモニタ用光導波路3fに導かれ、減衰部9で減衰された後、モニタ光の強度がモニタPD10によって検出されるようになっている。

【0028】また、図1に示すように、モニタPD10は、バイアス電圧の制御を行なうためのバイアス制御部8に接続されており、モニタPD10によって検出されたモニタ光の強度信号がバイアス制御部8へ送られるようになっている。そして、バイアス制御部8が、モニタ光の強度に基づいてバイアス電圧（DCバイアス電圧）を制御するフィードバック制御を行なうようになっている。つまり、バイアス制御部8は、モニタPD10によって検出された検出値が目標値に近づくように、バイアス電圧のフィードバック制御を行なうようになっている。これにより、光変調器1の動作点電圧の変動が補償されることになる。

【0029】ところで、上述のように、MZ型光導波路3Aの出力側に3dBカプラ6を設け、この3dBカプラ6に連結されるモニタ用光導波路3fを介してモニタ光を取り出す場合、モニタ光の強度が出力光（信号光）の強度と同じになってしまうため、モニタ光の強度としては大きすぎ、例えば入力光の強度が大きい場合には、モニタPD10に過大電流が流れてしまい、壊れてしまう場合がある。

【0030】そこで、本実施形態では、モニタ光の強度を適正に調節できるようにすべく、図1に示すように、モニタ用光導波路3fに、モニタ光の出力（パワー）を減衰させる減衰部9が設けられている。これにより、減衰部9によってモニタ光の出力を減衰させ、モニタ光の出力をモニタ用PD10の感度に応じた適正なものにすることができるようになっている。このため、モニタ用PD10では、モニタ用光導波路3fを通じて導かれ、減衰部9によって減衰されたモニタ光の強度が検出されることになる。

【0031】以下、減衰部9の具体的な構成例について、図2～図9を参照しながら説明する。

（1）減衰部9を、図2に示すように、曲率半径を小さくした曲がり導波路9a（導波路型減衰器）によって構成する。具体的には、図2に示すように、3dBカプラ6のポートから基板2の端面2Aへ向けて直線状に延びる光導波路3gを形成し、この直線状光導波路3gに連なるように、直線状光導波路3gよりも所望の大きさだけ曲率半径を小さくした曲がり導波路9aを形成すれば良い。この場合、直線状光導波路3gと、曲がり導波路9aとからモニタ用光導波路3fが構成される。

【0032】このように、モニタ用光導波路9を、曲率半径の小さい曲がり導波路9aによって構成すれば、モ

ニタ用光導波路9をモニタ光が伝播する際に曲がり損が生じるため、モニタ用光導波路9を導かれるモニタ光の出力が減衰されることになる。ここで、減衰部9を、曲率半径を小さくした曲がり導波路9aによって構成する場合、図2に示すように、曲がり導波路9aの端部から出射される導波光をモニタ光としてモニタPD10によって検出するようにしても良いし、図3に示すように、曲がり導波路9aの曲がった部分から放射される放射光をモニタ光としてモニタPD10によって検出するようにしても良い。

【0033】特に、図2に示すように、曲がり導波路9aを通じて導かれる導波光をモニタ光として用いる場合には、モニタPD10は感度の低いものを用いることができ、コストを低く抑えることができるという利点がある。一方、図3に示すように、モニタ光として放射光を用いる場合には、モニタPD10は感度の高いものを用いる必要があるが、取り付けの際の位置合わせは容易であるという利点がある。

（2）減衰部9を、図4に示すように、2つ以上の分岐光導波路（複数の分岐光導波路、多分岐光導波路、導波路型減衰器）9bによって構成する。

【0034】具体的には、図4に示すように、3dBカプラ6のポートから基板2の端面2Aへ向けて直線状に延びる光導波路3gを形成し、この直線状光導波路3gに連なるように、2つ以上の分岐光導波路9bを形成すれば良い。この場合、直線状光導波路3gと、2つ以上の分岐光導波路9bのうちの一の分岐光導波路9baとからモニタ用光導波路3fが構成される。

【0035】このように、モニタ用光導波路3fを、2つ以上の分岐光導波路9bを備えるものとして構成すれば、それぞれの分岐光導波路9bでモニタ光の一部が分岐されるため、モニタ用光導波路3fを構成する一の分岐光導波路9baを導かれるモニタ光の出力が減衰されることになる。

（3）減衰部9を、図5に示すように、1:Nの所定の分岐比で分岐する1:Nカプラ（導波路型カプラ、導波路型減衰器）9cによって構成する。

【0036】具体的には、図5に示すように、3dBカプラ6のポートから基板2の端面2Aへ向けて直線状に延びる光導波路3gを形成し、この直線状光導波路3gに連なるように、導波路型の1:Nカプラ（導波路型カプラ）9cを形成すれば良い。この場合、直線状光導波路3gと、1:Nカプラ9cの一方のポートに連なる光導波路9caとからモニタ用光導波路3fが構成される。

【0037】このように、モニタ用光導波路3fを、1:Nカプラ9cを備えるものとして構成すれば、1:Nカプラ9cによってモニタ光の一部が分岐されるため、モニタ用光導波路3fを構成する1:Nカプラ9cの一方のポートに連なる光導波路9caを導かれるモニ



タ光の出力が減衰されることになる。

(4) 減衰部 9 を、図 6、図 7 に示すように、モニタ用光導波路 3 f の端部付近に設けられるビーム拡大部 (導波路型減衰器) 9 d によって構成する。

【0038】ここで、ビーム拡大部 9 d は、例えば図 6 に示すように、基板 2 の端面 2 A (又は、モニタ光を基板 2 の側面から出射させる場合は基板の側面) から所定距離の位置に形成されたモニタ用光導波路 3 f の端部によって構成すれば良い。なお、所定距離は、モニタ PD 10 の感度などを考慮して設定すれば良い。ここでは、モニタ PD 10 は基板 2 の端面 2 A から離れた位置に設けているが、基板 2 の端面 2 A に取り付けようにしても良い。

【0039】このように、ビーム拡大部 9 d を、モニタ用光導波路 3 f を途中で断線させることによって形成すれば、モニタ用光導波路 3 f の端部からモニタ光が放射され、基板 2 の端面 2 A から出射されるモニタ光のビーム径が大きくなり、モニタ光の出力が減衰されることになる。また、ビーム径が大きくなるため、モニタ PD 10 を設ける位置のトレランスを大きくすることもできる。

【0040】また、ビーム拡大部 9 d は、例えば図 7 に示すように、モニタ用光導波路 3 f の端部を 2 分岐させることによって構成しても良い。つまり、3 dB カプラ 6 のポートから基板 2 の端面 2 A へ向けて直線状に延びる光導波路 3 g を形成し、この直線状光導波路 3 g に連なるように、2 分岐光導波路 3 h を形成すれば良い。この場合、直線状光導波路 3 g と、2 分岐光導波路 3 h とからモニタ用光導波路 3 f が構成される。ここでは、モニタ PD 10 は基板 2 の端面 2 A から離れた位置に設けているが、基板 2 の端面 2 A に取り付けようにしても良い。

【0041】このように、ビーム拡大部 9 d を、モニタ用光導波路 3 f の端部を 2 分岐させることによって構成すれば、モニタ光が 2 分岐光導波路 3 h で分岐され、分岐されたそれぞれの光導波路からモニタ光が出射されることになるため、モニタ光の出射領域が広がり、モニタ光の出力が減衰されることになる。また、モニタ光の出射領域が広がるため、モニタ PD 10 を設ける位置のトレランスを大きくすることもできる。

(5) 減衰部 9 を、上述の各減衰方法を任意に組み合わせたものとして構成する。

【0042】つまり、例えば図 8 に示すように、曲率半径を小さくした曲がり導波路 9 a を設けるとともに、モニタ用光導波路 3 f の端部を基板 2 の端面 2 A から所定距離の位置となるように途中で断線させるようにして、減衰部 9 を構成する。また、例えば図 9 に示すように、2 つ以上の分岐光導波路 9 b を設けるとともに、モニタ用光導波路 3 f の端部を基板 2 の端面 2 A から所定距離の位置となるように途中で断線させるようにして、減衰

部 9 を構成する。このように、上述の各減衰方法を組み合わせることによって、モニタ光の出力が大きい場合であっても、確実に減衰させることができるようになる。

【0043】このように、光変調器 1 のモニタ用光導波路 3 f に減衰部 9 を設けると、図 10 に示すように、出力側光導波路 3 e から出射される出力光の出力よりもモニタ光の出力を低く抑えることができるようになる。したがって、本実施形態にかかる光導波路デバイスとしての光変調器 1 によれば、マッハツェンダ型光導波路 3 A の出力側を 3 dB カプラ 6 とし、この 3 dB カプラ 6 の出力側の一のポートに連結される光導波路をモニタ用光導波路 3 f として、モニタ光を取り出す場合に、モニタ用光導波路 3 f に減衰器 9 が設けられているため、モニタ光の強度をモニタ PD 10 の感度に応じた適正な強度に調節することができる。

【0044】このため、本光導波路デバイス (光変調器) によれば、モニタ光を正確、かつ確実に検出でき、採用しうるモニタ PD 10 の選択の幅が広がり、また、バイアス制御に用いるのに適正な強度のモニタ光が得られるという利点がある。なお、上述の実施形態では、本発明にかかる光導波路デバイスをマッハツェンダ型の光変調器 1 に適用しているが、これに限られるものではなく、例えば方向性結合器型光導波路を備える光変調器等の他の導波路構造の光変調器にも適用することができる。

【0045】また、上述の実施形態では、本発明にかかる光導波路デバイスを光変調器に適用した場合について説明したが、光導波路デバイスはこれに限られるものではなく、本発明は例えば光スイッチ等の他の光導波路デバイスに適用することができる。また、上述の実施形態では、光変調器から出力される出力光の一部をモニタ光として取り出し、このモニタ光の強度を検出して、バイアス電圧のフィードバック制御を行なうようにしているが、これに限られるものではなく、例えば、検出されたモニタ光の強度を、信号供給部 (電源回路、駆動回路を含む) によって印加される電圧のフィードバック制御に用いるものであっても良い。

【0046】さらに、上述の実施形態では、光変調器を主電極 4 とバイアス電極 5 とを備えるものとして構成しているが、これに限られるものではなく、例えば主電極 4 のみを備えるものとして構成し、主電極 4 に、データ信号を供給するとともに、バイアス電圧を印加するように構成しても良い。

(第 2 実施形態の説明) 次に、本発明の第 2 実施形態にかかる光導波路デバイスについて説明する。

【0047】以下、本発明の光導波路デバイスを適用して構成される R Z 光変調器 [入力光に対してクロック信号とデータ信号を与えて R Z (Return to Zero) 信号を生成する光変調器 (クロック変調型光変調器)] について、図 11 ~ 図 17 を参照しながら説明する。本実施形

態にかかるRZ光変調器は、例えば長距離光伝送システムにおける光送信器として用いられる。

【0048】本実施形態では、図11に示すように、RZ光変調器20は、ニオブ酸リチウム（リチウムナイオベート、 $\text{LiNbO}_3$ ；LN）を用いた2段のマッハツェンダ型光変調器（MZ型LN光変調器）21、41を備えるものとして構成される。つまり、RZ光変調器20は、図11に示すように、ニオブ酸リチウム結晶を結晶方位のZ軸方向にカット（Z軸カット）して切り出されたニオブ酸リチウム結晶基板（LN基板）22上に、マッハツェンダ型の第1光導波路（以下、第1光導波路という）23、マッハツェンダ型の第2光導波路（以下、第2光導波路という）24を含む光導波路を形成し、さらに、第1光導波路23の近傍に第1電極（主電極）25及び第1バイアス電極26を形成し、第2光導波路24の近傍に第2電極（主電極）27及び第2バイアス電極28を形成したものとして構成される。

【0049】なお、RZ光変調器20の前段側に設けられる第1光導波路23、第1電極25、第1バイアス電極26を備えるものとして、マッハツェンダ型の第1光変調器21（クロック信号に変調するため、クロック変調器ともいう）が構成され、RZ光変調器20の後段側に設けられる第2光導波路24、第2電極27、第2バイアス電極28を備えるものとして、マッハツェンダ型の第2光変調器（NRZ（Non Return to Zero）信号に変調するため、NRZ変調器ともいう）41が構成される。

【0050】なお、ここでは、基板としてニオブ酸リチウム結晶を用いているが、基板は電気光学効果を有するものであれば良く、例えばタンタル酸リチウム（ $\text{LiTaO}_3$ ；LT）結晶等の他の強誘電体結晶を用いることもできる。ここで、 $\text{LiNbO}_3$ 結晶や $\text{LiTaO}_3$ 結晶などの電気光学効果を有する基板を用いたRZ光変調器1は、例えば $\text{LiNbO}_3$ 結晶や $\text{LiTaO}_3$ 結晶等からなる基板上の一部に金属膜を形成し、熱拡散させて光導波路を形成するか、又は、金属膜をパターンニングした後に、安息香酸中でプロトン交換するなどして光導波路を形成した後、光導波路の近傍に電極を設けることで形成される。

【0051】具体的には、例えば、 $\text{LiNbO}_3$ 結晶を基板上に用いる場合、基板上にチタン膜（Ti膜）を所望の光導波路形状に合わせてパターンニングし、このようにパターンニングした状態で、1050℃で7～10時間加熱して熱拡散させることによって、光導波路を形成する。本実施形態では、光導波路は、図11に示すように、入力側光導波路30が対称型の3dBカプラ（光カプラ、導波路型カプラ）29aを介して分岐されて2つの平行な直線状光導波路23b、23cに連結され、さらにこれらの直線状光導波路23b、23cが対称型の3dBカプラ（光カプラ、導波路型カプラ）29bを介

してそれぞれ中間光導波路31及びモニタ用光導波路23dに連結されるように形成されている。ここでは、3dBカプラ29a、29bは同じ形のものをを用いている。なお、3dBカプラ29a、直線状光導波路23b、23c、3dBカプラ29bによってマッハツェンダ型の第1光導波路23が構成される。

【0052】また、図11に示すように、中間光導波路31がY分岐光導波路（分岐光導波路）24aを介して分岐されて2つの平行な直線状光導波路24b、24cに連結され、さらにこれらの直線状光導波路24b、24cが対称型の3dBカプラ（光カプラ、導波路型カプラ）29cを介してそれぞれ出力側光導波路32及びモニタ用光導波路24dに連結されるように形成されている。なお、Y分岐光導波路24a、直線状光導波路24b、24c、3dBカプラ29cによってマッハツェンダ型の第2光導波路24が構成される。

【0053】ここでは、第1光導波路23及び第2光導波路24を構成する3dBカプラ29a～29cは、導波路型の光カプラ（導波路型カプラ）として形成されている。この3dBカプラ29a～29cとしては、一般的には方向性結合器型カプラ（3dB方向性結合器）が用いられるが、より好ましくは、波長依存性の少なく、歩留まりの良い交差導波路型カプラ（3dB交差導波路型カプラ）を用いる。

【0054】このように、本実施形態のRZ光変調器20は、2つのMZ型LN光変調器21、41と、3つの3dBカプラ29a～29cとを1チップ内に一体に集積化した構造となっている。また、第1電極25は、図11に示すように、一部が第1光導波路23を構成する一方の直線状光導波路23bと重なるように設けられた信号電極25aと、一部が第1光導波路23を構成する他方の直線状光導波路23cと重なるように設けられた接地電極25bとを備えるものとして構成される。この第1電極25を構成する信号電極25aには、例えば20GHzの周波数の正弦波電気信号（マイクロ波信号、高周波信号）をクロック信号として供給するクロック信号供給部（信号供給部）33が接続されている。

【0055】そして、第1電極25にクロック信号供給部33からクロック信号を供給して、直線状光導波路23b、23cにクロック信号に応じた電圧（クロック信号電圧、信号電圧）を印加することで、直線状光導波路23b、23cに電界を生じさせて、直線状光導波路23b、23cの屈折率を $+\Delta n$ 、 $-\Delta n$ のように変化させる。これにより、直線状光導波路23b、23cのそれぞれを伝播する光に位相差を生じさせ、これらの位相差の生じた光を3dBカプラ29bで合波干渉させることで、中間光導波路31を介して、第2光導波路24へ向けて、例えば40GHzの光クロック信号〔即ち、「1」、「1」、「1」、…のデータ配列の40Gb/sのRZデータ信号（光RZ信号）に変調された変調信



号] が出力されるようにしている。

【0056】なお、本実施形態では、信号電極 25a の一方の端部（出力側端部、終端）と接地電極 25b の一方の端部（出力側端部、終端）とを抵抗（終端器）で接続することで進行波電極とし、信号電極 25a の他方の端部（入力側端部）と接地電極 25b の他方の端部（入力側端部）とに接続されるクロック信号供給部 33（電源回路や駆動回路を含む）を介してクロック信号を供給して、これに応じた電圧が直線状光導波路 23b, 23c に印加されるようにしている。このように、第 1 光変調器 21 は、高速で駆動することができるようにしている。

【0057】特に、第 1 電極 25 の断面形状を変えることで直線状光導波路 23b, 23c の実効屈折率を制御し、直線状光導波路 23b, 23c を伝播する光と、第 1 電極 25 に供給されるマイクロ波の速度とを整合させることで、広帯域の光応答特性を得ることができるようになる。同様に、第 2 電極 27 も、図 11 に示すように、一部が第 2 光導波路 24 を構成する一方の直線状光導波路 24b と重なるように設けられた信号電極 27a と、一部が第 2 光導波路 24 を構成する他方の直線状光導波路 24c と重なるように設けられた接地電極 27b とを備えるものとして構成される。この第 2 電極 27 を構成する信号電極 27a には、第 1 光変調器 21 からの例えば 40GHz の光クロック信号に同期したタイミングで、例えば 40Gb/s の NRZ データ信号（電気信号）を供給する NRZ データ信号供給部（信号供給部）34 が接続されている。

【0058】そして、第 2 電極 27 に NRZ データ信号供給部 34 から NRZ データ信号を供給して、直線状光導波路 24b, 24c に NRZ データ信号に応じた電圧（NRZ データ信号電圧、信号電圧）を印加することで、直線状光導波路 24b, 24c に電界を生じさせて、直線状光導波路 24b, 24c の屈折率を  $+\Delta m$ ,  $-\Delta m$  のように変化させる。これにより、直線状光導波路 24b, 24c のそれぞれを伝播する光に位相差を生じさせ、これらの位相差の生じた光を 3dB カプラ 29c で合波干渉させることで、出力側光導波路 32 を介して、例えば 40Gb/s の光 RZ データ信号（変調信号）が出力されるようにしている。

【0059】なお、本実施形態では、信号電極 27a の一方の端部（出力側端部、終端）と接地電極 27b の一方の端部（出力側端部、終端）とを抵抗（終端器）で接続することで進行波電極とし、信号電極 27a の他方の端部（入力側端部）と接地電極 27b の他方の端部（入力側端部）とに接続される NRZ データ信号供給部 34（電源回路や駆動回路を含む）を介して NRZ データ信号を供給して、これに応じた電圧が直線状光導波路 24b, 24c に印加されるようにしている。このように、第 2 光変調器 41 は、高速で駆動することができるよう

になっている。

【0060】特に、第 2 電極 27 の断面形状を変えることで直線状光導波路 24b, 24c の実効屈折率を制御し、直線状光導波路 24b, 24c を伝播する光と、第 2 電極 27 に供給されるマイクロ波の速度とを整合させることで、広帯域の光応答特性を得ることができるようになる。また、第 1 バイアス電極 26 は、図 11 に示すように、一部が第 1 光導波路 23 を構成する一方の直線状導波路 23b と重なるように設けられた電極 26a と、一部が第 1 光導波路 23 を構成する他方の直線状導波路 23c と重なるように設けられた接地電極 26b とを備えるものとして構成される。この第 1 バイアス電極 26 には第 1 バイアス制御部（例えばバイアス制御回路）35 が接続されている。

【0061】そして、第 1 バイアス電極 26 に第 1 バイアス制御部 35 を通じてバイアス電圧（DC 電圧）を供給することで、第 1 光導波路 23 に対してバイアス電圧（DC 電圧）が印加されるようになっている。ここでは、後述するように、第 1 バイアス制御部 35 によって、モニタ光の強度に基づいてバイアス電圧を制御するフィードバック制御を行なうことで、第 1 光変調器 21 の動作点電圧の変動を補償している。

【0062】同様に、第 2 バイアス電極 28 は、図 11 に示すように、一部が第 2 光導波路 24 を構成する一方の直線状導波路 24b と重なるように設けられた電極 28a と、一部が第 2 光導波路 24 を構成する他方の直線状導波路 24c と重なるように設けられた接地電極 28b とを備えるものとして構成される。この第 2 バイアス電極 28 には第 2 バイアス制御部（バイアス制御回路）36 が接続されている。

【0063】そして、第 2 バイアス電極 28 に第 2 バイアス制御部 36 を通じてバイアス電圧（DC 電圧）を供給することで、第 2 光導波路 24 に対してバイアス電圧（DC 電圧）が印加されるようになっている。ここでは、後述するように、第 2 バイアス制御部 36 によって、モニタ光の強度に基づいてバイアス電圧を制御するフィードバック制御を行なうことで、第 2 光変調器 41 の動作点電圧の変動を補償している。

【0064】本実施形態では、Z 軸カットのニオブ酸リチウム結晶基板 22 を用いており、Z 軸方向の電界による屈折率変化を利用するため、第 1 電極 25、第 1 バイアス電極 26 は、第 1 光導波路 23 の直線状導波路 23b, 23c の真上に形成され、第 2 電極 27、第 2 バイアス電極 28 は第 2 光導波路 24 の直線状導波路 24b, 24c の真上に形成される。

【0065】このように、本実施形態では、第 1 電極 25、第 1 バイアス電極 26、第 2 電極 27、第 2 バイアス電極 28 は、直線状導波路 23b, 23c, 24b, 24c の真上にパターンニングするため、直線状光導波路 23b, 23c, 24b, 24c 中を伝搬する光が各電



極 25, 26, 27, 28 によって吸収されてしまうおそれがある。これを防ぐために、本実施形態では、LN 基板 22 と各電極 25, 26, 27, 28 との間にバッファ層を形成している。このバッファ層は例えば SiO<sub>2</sub> 膜として形成すれば良く、その厚さは、0.2 ~ 1 μm 程度とすれば良い。

【0066】このため、本 RZ 光変調器 20 は、第 1, 第 2 電極 25, 27 及び第 1, 第 2 バイアス電極 26, 28 と基板 22 との間に、基板 22 の厚さと比べて厚さの薄いバッファ層を積層したものとして構成される。なお、本実施形態では、第 1 電極 25, 第 2 電極 27, 第 1 バイアス電極 26, 第 2 バイアス電極 28 は、いずれも 1 つの信号電極を有するシングル電極とし、RZ 光変調器 20 をシングル駆動型の光変調器として構成しているが、これに限られるものではない。例えば、駆動電圧を低減するためには、2 つの信号電極を有するデュアル電極とし、デュアル駆動型の光変調器として構成すれば良い。

【0067】ところで、本実施形態では、図 11 に示すように、第 1 光導波路 23 の出力側には 3 dB カプラ 29 b が設けられており、この 3 dB カプラ 29 b の出力側の一のポートに中間光導波路 31 を介して第 2 光導波路 24 の入力側、即ち、第 2 光導波路 24 の Y 分岐光導波路 24 a が連結されている。つまり、第 1 光変調器 21 と第 2 光変調器 41 とは、光導波方向に沿って直列に連結されている。

【0068】なお、ここでは、前後に 2 つの光変調器 21, 41 を直列に連結しているが、光変調器の数はこれに限られるものではない。つまり、複数の光変調器を直列に連結しても良い。この場合、モニタ PD, 信号供給部も複数設けることになる。これにより、図示しない光源（半導体レーザ）からの入力光が、入力側光導波路 30, 3 dB カプラ 29 a を介して第 1 光導波路 23 に導入され、この第 1 光導波路 23 を伝播する際に所望のクロック信号（電気信号）に基づいて変調された後、第 1 光導波路 23 の出力側に設けられる 3 dB カプラ 29 b 及び 3 dB カプラ 29 b の出力側の一のポートに連結されている中間光導波路 31 を介して第 2 光導波路 24 へ導かれ、さらに第 2 光導波路 24 で NRZ データ信号（電気信号）に基づいて変調され、3 dB カプラ 29 c 及び 3 dB カプラ 29 c の出力側の一のポートに連結されている出力側光導波路 32 を介して、変調された出力光（信号光、光 NR 信号）が出力されるようになっている。

【0069】本実施形態では、図 11 に示すように、第 1 光導波路 23 の出力側に設けられる 3 dB カプラ 29 b の他のポートには第 1 モニタ用光導波路 23 d が連結されており、この第 1 モニタ用光導波路 23 d は、RZ 光変調器（チップ）20 の出力端まで延びている。そして、第 1 モニタ用光導波路 23 d の端部には、第 1 モニ

タ PD（フォトディテクタ、第 1 バイアス制御用モニタ PD, 光検出部, 光検出器）37 が設けられている。これにより、第 1 光変調器 21 で変調された光の一部が、3 dB カプラ 29 b によってモニタ光として分岐されて第 1 モニタ用光導波路 23 d に導かれ、モニタ光の強度が第 1 モニタ PD 37 によって検出されるようになっている。

【0070】また、図 11 に示すように、第 1 モニタ PD 37 は、バイアス電圧の制御を行なうための第 1 バイアス制御部 35 に接続されており、第 1 モニタ PD 37 によって検出されたモニタ光の強度信号が第 1 バイアス制御部 35 へ送られるようになっている。そして、第 1 バイアス制御部 35 が、モニタ光の強度に基づいてバイアス電圧（DC バイアス電圧）を制御するフィードバック制御を行なうようになっている。つまり、第 1 バイアス制御部 35 は、第 1 モニタ PD 37 によって検出された検出値が目標値に近づくように、バイアス電圧のフィードバック制御を行なうようになっている。これにより、第 1 光変調器 21 の動作点電圧の変動が補償されることになる。

【0071】一方、第 2 光導波路 24 の出力側に設けられる 3 dB カプラ 29 c の他のポートには第 2 モニタ用光導波路 24 d が連結されており、この第 2 モニタ用光導波路 24 d は、RZ 光変調器（チップ）20 の出力端まで延びている。そして、第 2 モニタ用光導波路 24 d の端部には、第 2 モニタ PD（フォトディテクタ、第 2 バイアス制御用モニタ PD, 光検出部, 光検出器）38 が設けられている。これにより、第 2 光変調器 41 で変調された光の一部が、3 dB カプラ 29 c によってモニタ光として分岐されて第 2 モニタ用光導波路 24 d に導かれ、モニタ光の強度が第 2 モニタ PD 38 によって検出されるようになっている。

【0072】また、図 11 に示すように、第 2 モニタ PD 38 は、バイアス電圧の制御を行なうための第 2 バイアス制御部 36 に接続されており、第 2 モニタ PD 38 によって検出されたモニタ光の強度信号が第 2 バイアス制御部 36 へ送られるようになっている。そして、第 2 バイアス制御部 36 が、モニタ光の強度に基づいて、バイアス電圧（DC バイアス電圧）のフィードバック制御を行なうようになっている。つまり、第 2 バイアス制御部 36 は、第 2 モニタ PD 38 によって検出された検出値が目標値に近づくように、バイアス電圧のフィードバック制御を行なうようになっている。これにより、第 2 光変調器 41 の動作点電圧の変動が補償されることになる。

【0073】このように、本実施形態では、第 1 光変調器 21 によって変調された光（信号光）の一部をモニタ光として取り出し、このモニタ光の強度を第 1 モニタ PD 37 で検出するとともに、これとは独立に、第 2 光変調器 41 によって変調された光（信号光）の一部をモニ

タ光として取り出し、このモニタ光の強度を第2モニタPD38によって検出するようにしている。

【0074】そして、第1モニタPD37と、第2モニタPD38とを、それぞれ別個のバイアス制御部35、36に接続している。つまり、第1モニタPD37は、第1光変調器21のバイアス制御を行なうための第1バイアス制御部35に接続し、第2モニタPD38は、第2光変調器41のバイアス制御を行なうための第2バイアス制御部36に接続している。

【0075】これにより、第1光変調器21の動作点電圧の変動を補償するために行なわれるバイアス電圧のフィードバック制御と、第2光変調器41の動作点電圧の変動を補償するために行なわれるバイアス電圧のフィードバック制御とが、それぞれ独立して行なわれるようにしている。したがって、本実施形態にかかる光導波路デバイスとしてのRZ光変調器20によれば、それぞれの光変調器21、41毎に設けられた第1モニタPD37、第2モニタPD38によって、各光変調器21、41によって変調された光をそれぞれ独立にモニタするため、それぞれの光変調器21、41のバイアス制御が容易、かつ、正確に行なえるようになるという利点がある。

【0076】なお、本第2実施形態では、第1光変調器21及び第2光変調器41は、いずれもマッハツェンダ型的光変調器として構成しているが、これに限られるものではなく、例えば方向性結合器型的光変調器として構成しても良い。また、本第2実施形態では、第2光変調器21の入力側をY分岐光導波路24aとしているが、これに限られるものではなく、例えば3dBカプラとして構成しても良い。

【0077】さらに、本第2実施形態では、第1光変調器21の入射側及び出射側に3dBカプラ29a、29bを設けており、さらに、第2光変調器41の出射側にも3dBカプラ29cを設けているが、これに限られるものではなく、例えばY分岐光導波路として構成しても良い。

(第2実施形態の第1変形例の説明) 次に、本発明の第2実施形態の第1変形例にかかる光導波路デバイスとしてのRZ光変調器について、図12を参照しながら説明する。

【0078】本第1変形例にかかるRZ光変調器は、上述の第2実施形態のものと比べ、第1光導波路23の出力側に設けられる3dBカプラ29bに連結される第1モニタ用光導波路の構成と、第1光変調器21のバイアス制御に用いられる第1モニタPD37を設ける位置が異なる。つまり、本第1変形例では、図12に示すように、第1光導波路23の出力側に設けられる3dBカプラ29bの出力側の他のポートに連結される第1モニタ用光導波路23dを、RZ光変調器50(チップ)の側面まで延びるように形成し、このRZ光変調器50の側

面まで延びる第1モニタ用光導波路23dの端部に第1モニタPD(光検出部)37を設けている。

【0079】なお、その他の構成は上述の第2実施形態のものと同様であるため、ここでは説明を省略する。このように、本第1変形例によれば、上述の第2実施形態の構成による効果に加え、第1モニタPD37をRZ光変調器20の側面に設けることができるため、第1モニタPD37、第2モニタPD38の配設位置の自由度が大きくなるという利点がある。

(第2実施形態の第2変形例の説明) 次に、本発明の第2実施形態の第2変形例にかかる光導波路デバイスとしてのRZ光変調器について、図13を参照しながら説明する。

【0080】本第2変形例にかかるRZ光変調器は、上述の第2実施形態のものと比べ、第2光変調器41から出力される光のモニタ方法が異なる。このため、第2光導波路24の出力側の構成が異なり、また、第2光導波路24のバイアス制御に用いられる第2モニタPD(光検出部)38を設ける位置が異なる。つまり、図13に示すように、本第2変形例にかかるRZ光変調器60では、第2光導波路24の出力側をY分岐光導波路61とし、このY分岐光導波路61を出力側光導波路32に連結して、第2光導波路24からの出力光がY分岐光導波路61、出力側光導波路32を介して出力されるようにしている。そして、OFF状態にY分岐光導波路61の分岐部分から放射される放射光をモニタ光として用いるようにしている。このため、第2モニタPD38は、RZ光変調器(チップ)60の出力側の端面であって、Y分岐光導波路61の分岐部分からの放射光の強度を検出できるような位置に設けている。

【0081】なお、その他の構成は上述の第2実施形態のものと同様であるため、ここでは説明を省略する。このように、本第2変形例によれば、上述の第2実施形態の構成による効果に加え、第2モニタPD38の配設位置のトレランスを大きくすることができる。

(第2実施形態の第3変形例の説明) 次に、本発明の第2実施形態の第3変形例にかかる光導波路デバイスとしてのRZ光変調器について、図14(A)、(B)を参照しながら説明する。なお、図14(A)は模式的平面図であり、図14(B)は模式的断面図である。

【0082】本第3変形例にかかるRZ光変調器は、上述の第2実施形態のものと比べ、第1光変調器21及び第2光変調器41から出力される光のモニタ方法が異なる。このため、第1光導波路23及び第2光導波路24の出力側の構成が異なり、また、第1光導波路23のバイアス制御に用いられる第1モニタPD(光検出部)37を設ける位置や第2光導波路24のバイアス制御に用いられる第2モニタPD(光検出部)38を設ける位置が異なる。

【0083】つまり、図14(A)、(B)に示すよう



に、本第3変形例にかかるRZ光変調器70では、第1光導波路23の出力側をY分岐光導波路71とし、このY分岐光導波路71を中間光導波路31を介して第2光導波路24に連結して、第1光導波路23からの出力光がY分岐光導波路71、中間光導波路31を介して第2光導波路24へ向けて出力されるようにしている。そして、OFF状態にY分岐光導波路71の分岐部分から放射される放射光をモニタ光として用いるようにしている。このため、第1モニタPD37は、RZ光変調器(チップ)70の出力側の端面であって、Y分岐光導波路71の分岐部分からの放射光の強度を検出できるような位置に設けている。

【0084】また、図14(A)、(B)に示すように、第2光導波路24の出力側をY分岐光導波路72とし、このY分岐光導波路72を出力側光導波路32に連結して、第2光導波路24からの出力光がY分岐光導波路72、出力側光導波路32を介して出力されるようにしている。そして、OFF状態にY分岐光導波路72の分岐部分から放射される放射光をモニタ光として用いるようにしている。このため、第2モニタPD38は、RZ光変調器(チップ)70の出力側の端面であって、Y分岐光導波路72の分岐部分からの放射光の強度を検出できるような位置に設けている。

【0085】特に、図14(B)に示すように、OFF状態に第1光導波路23のY分岐光導波路71の分岐部分から放射される放射光は、RZ光変調器(チップ)70の厚さ方向に向けて斜めにチップ表面から離れていくように伝播するため、RZ光変調器70の出力側の端面において、基板22の底面に近い位置から出射することになる。このため、第1モニタPD37は、RZ光変調器70の出力側の端面の基板22の底面に近い位置に設けることになる。なお、第1モニタPD37の配設位置は、第1光導波路23のY分岐光導波路71の分岐部分の位置からRZ光変調器70の出力側の端面までの距離に応じて決められる。

【0086】一方、図14(B)に示すように、OFF状態に第2光導波路24のY分岐光導波路72の分岐部分から放射される放射光は、Y分岐光導波路72の分岐部分からRZ光変調器(チップ)70の出力側の端面までの距離が近いため、RZ光変調器70の出力側の端面において、基板22の表面に近い位置から出射することになる。このため、第2モニタPD38は、RZ光変調器70の出力側の端面において、基板22の表面に近い位置に設けることになる。なお、第2モニタPD38の配設位置は、第2光導波路24のY分岐光導波路72の分岐部分の位置からRZ光変調器70の出力側の端面までの距離に応じて決められる。

【0087】このように、RZ光変調器70の出力側の端面において、基板22の表面に近い方の位置に第2モニタPD38が設けられ、第2モニタPD38よりも基

板22の表面から離れた位置(即ち、基板の底面に近い位置)に第1モニタPD37が設けられることになる。つまり、2つのモニタPD37、38は、対応するY分岐光導波路71、72の分岐部分から放射される放射光の強度を検出するように、基板22の出力側端面の厚さ方向に位置をずらして配設されている。

【0088】なお、本第3変形例では、第1光導波路23の入力側の構成も異なるものとしている。つまり、本第3変形例では、第1光導波路23の入力側をY分岐光導波路73とし、このY分岐光導波路73を介して入力側光導波路30を第1光導波路23に連結するようにしている。なお、その他の構成は上述の第2実施形態のものと同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0089】このように、本第3変形例によれば、上述の第2実施形態の構成による効果に加え、第2モニタPD38の配設位置のトレランスを大きくすることができる。また、モニタ光を取り出すのにモニタ用光導波路を形成する必要がないため、RZ光変調器70の全体の大きさをコンパクトにすることができる。(第2実施形態の第4変形例の説明)次に、本発明の第2実施形態の第4変形例にかかる光導波路デバイスとしてのRZ光変調器について、図15を参照しながら説明する。

【0090】本第4変形例にかかるRZ光変調器は、上述の第2実施形態のものと比べ、第1光変調器23の出力側の構成及び第2光変調器24の出力側の構成が異なる。つまり、図15に示すように、本第4変形例にかかるRZ光変調器80では、第1光導波路23の出力側をY分岐光導波路81とし、このY分岐光導波路81に、1:Nの所定の分岐比で分岐する導波路型の1:Nカプラ(例えば1:10カプラ、導波路型カプラ)82を連結している。そして、1:Nカプラ82の一のポート(出力の小さい方)には、RZ光変調器(チップ)80の出力側の端面まで延びるように形成されている第1モニタ用光導波路23dが連結されており、この第1モニタ用光導波路23dの端部に第1モニタPD(光検出部)37が配設されている。

【0091】一方、図15に示すように、1:Nカプラ82の他のポート(出力の大きい方)には、第2光導波路24の入力側のY分岐光導波路24aが連結されており、第1光導波路23からの出力光がY分岐光導波路81、1:Nカプラ82を介して第2光導波路24へ向けて出力されるようにしている。また、図15に示すように、第2光導波路24の出力側もY分岐光導波路83とし、このY分岐光導波路83に、1:Nの所定の分岐比で分岐する導波路型の1:Nカプラ(例えば1:10カプラ、導波路型カプラ)84を連結している。そして、1:Nカプラ84の一のポート(出力の小さい方)には、RZ光変調器(チップ)80の出力側の端面まで延びるように形成されている第2モニタ用光導波路24dが連結されており、この第2モニタ用光導波路24dの

端部に第 2 モニタ PD (光検出部) 38 が配設されている。

【0092】一方、図 15 に示すように、1 : N カプラ 84 の他のポート (出力の大きい方) には、出力側光導波路 32 が連結されており、第 2 光導波路 24 からの出力光が Y 分岐光導波路 83, 1 : N カプラ 84, 出力側光導波路 32 を介して出力されるようにしている。なお、本第 4 変形例では、第 1 光導波路 23 の入力側の構成も異なるものとしている。つまり、本第 4 変形例では、第 1 光導波路 23 の入力側を Y 分岐光導波路 85 とし、この Y 分岐光導波路 85 を介して入力側光導波路 30 を第 1 光導波路 23 に連結するようにしている。なお、その他の構成は上述の第 2 実施形態のものと同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0093】このように、本第 4 変形例によれば、出力光は 1 : N の比率で弱くなるため、1 : N カプラの分岐比を適切に設計することにより、分岐後のモニタ光導波路 23 d, 24 d を伝播するモニタ光を減衰させるために導波路形状を工夫する必要がなく、導波路構造の設計が容易であるという利点がある。

(第 2 実施形態の第 5 変形例の説明) 次に、本発明の第 2 実施形態の第 5 変形例にかかる光導波路デバイスとしての RZ 光変調器について、図 16 を参照しながら説明する。

【0094】本第 5 変形例にかかる RZ 光変調器は、上述の第 2 実施形態のものと比べ、第 1 光変調器 21 の出力側の構成及び第 2 光変調器 41 の出力側の構成が異なり、さらに、第 2 光変調器 41 の後段に、3 段目のマッハツェンダ型光変調器として、マッハツェンダ型の可変減衰器が設けられている点が異なる。このような RZ 光変調器を可変減衰器集積型 RZ 光変調器という。

【0095】つまり、図 16 に示すように、本第 5 変形例にかかる RZ 光変調器 90 では、第 1 光導波路 23 の出力側を Y 分岐光導波路 91 とし、この Y 分岐光導波路 91 に、1 : N の所定の分岐比で分岐する導波路型の 1 : N カプラ (例えば 1 : 10 カプラ, 導波路型カプラ) 92 を連結している。そして、1 : N カプラ 92 の一のポート (出力の小さい方) には、RZ 光変調器 (チップ) 90 の出力側の端面まで延びるように形成されている第 1 モニタ用光導波路 23 d が連結されており、この第 1 モニタ用光導波路 23 d の端部に第 1 モニタ PD (光検出部) 37 が配設されている。

【0096】一方、図 16 に示すように、1 : N カプラ 92 の他のポート (出力の大きい方) には、第 2 光導波路 24 の入力側の Y 分岐光導波路 24 a が連結されており、第 1 光導波路 23 からの出力光が Y 分岐光導波路 91, 1 : N カプラ 92 を介して第 2 光導波路 24 へ向けて出力されるようにしている。また、図 16 に示すように、第 2 光導波路 24 の出力側も Y 分岐光導波路 93 とし、この Y 分岐光導波路 93 に、1 : N の所定の分岐比

で分岐する導波路型の 1 : N カプラ (例えば 1 : 10 カプラ, 導波路型カプラ) 94 を連結している。そして、1 : N カプラ 94 の一のポート (出力の小さい方) には、RZ 光変調器 (チップ) 90 の出力側の端面まで延びるように形成されている第 2 モニタ用光導波路 24 d が連結されており、この第 2 モニタ用光導波路 24 d の端部に第 2 モニタ PD (光検出部) 38 が配設されている。

【0097】一方、1 : N カプラ 94 の他のポート (出力の大きい方) には、図 16 に示すように、マッハツェンダ型の可変減衰器 95 が連結されている。つまり、第 2 光変調器 41 の後段には、マッハツェンダ型の可変減衰器 95 が連結されている。このため、可変減衰器 95 には、第 2 光導波路 24 からの出力光が Y 分岐光導波路 93, 1 : N カプラ 94 を介して入力されるようになっている。

【0098】ここで、可変減衰器 95 は、図 16 に示すように、入力側の Y 分岐光導波路 96 a, 2 つの平行な直線状光導波路 96 b, 96 c, 出力側の Y 分岐光導波路 96 d を備えるマッハツェンダ型の光導波路 96 と、電極 97 と、バイアス電極 98 とを備えるものとして構成される。そして、電極 97 を介して直線状光導波路 96 b, 96 c に所定の直流電圧 (DC 電圧) を印加して、直線状光導波路 96 b, 96 c の屈折率を変化させることで、直線状光導波路 96 b, 96 c の透過率を変化させ、直線状光導波路 96 b, 96 c 内を伝播する光 (信号光) の出力 (パワー) を減衰させるようになっている。このため、電極 97 には電圧供給部 (電源回路や駆動回路を含む) が接続されている。

【0099】また、可変減衰器 95 の出力側の Y 分岐光導波路 96 d には、1 : N の所定の分岐比で分岐する導波路型の 1 : N カプラ (例えば 1 : 10 カプラ, 導波路型カプラ) 99 が連結されている。この 1 : N カプラ 99 の一のポート (出力の小さい方) には、RZ 光変調器 (チップ) 90 の出力側の端面まで延びるように形成されている第 3 モニタ用光導波路 100 が連結されており、この第 3 モニタ用光導波路 100 の端部に第 3 モニタ PD (光検出部) 101 が配設されている。

【0100】そして、第 3 モニタ PD 101 によって検出されたモニタ光の強度に基づいて、バイアス電圧 (DC バイアス電圧) のフィードバック制御が行なわれるようになっている。つまり、第 2 モニタ PD 101 によって検出された検出値が目標値に近づくように、バイアス電圧のフィードバック制御を行なうようになっている。このため、第 2 モニタ PD 101 には第 3 バイアス制御部 (バイアス制御回路) が接続されている。

【0101】このように、電極 97 に所定の DC 電圧を印加するとともに、任意に設定しうる目標値に近づくようにバイアス電圧を印加することで、直線状光導波路 96 b, 96 c に印加される DC 電圧を可変制御して、出



力光のパワーを調節できるようにしている。一方、図 16 に示すように、1 : N カプラ 99 の他のポート（出力の大きい方）には、出力側光導波路 32 が連結されており、可変減衰器 95 からの出力光が 1 : N カプラ 99、出力側光導波路 32 を介して出力されるようにしている。

【0102】なお、本第 5 変形例では、第 1 光導波路 23 の入力側の構成も異なるものとしている。つまり、本第 5 変形例では、第 1 光導波路 23 の入力側を Y 分岐光導波路 102 とし、この Y 分岐光導波路 102 を介して

入力側光導波路 30 を第 1 光導波路 23 に連結するようにしている。なお、その他の構成は上述の第 2 実施形態のものと同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0103】このように、本第 5 変形例によれば、上述の第 4 変形例の場合と同様に、出力光は 1 : N の比率で弱くなるため、1 : N カプラの分岐比を適切に設計することにより、分岐後のモニタ光導波路 23d、24d を伝播するモニタ光を減衰させるために導波路形状を工夫する必要がなく、導波路構造の設計が容易であるという利点がある。

【0104】なお、図 17 に示すように、上述の第 2 実施形態にかかる光導波路デバイスとしての RZ 光変調器 20 のモニタ用光導波路 23d、24d に、上述の第 1 実施形態のモニタ用光導波路を伝播するモニタ光を減衰させる減衰部 9 を設けるのも好ましい。これにより、上述の第 2 実施形態及びその各変形例の構成における効果に加え、モニタ光を正確、かつ確実に検出でき、採用しうるモニタ PD 10 の選択の幅が広がり、また、バイアス制御に用いるのに適正な強度のモニタ光が得られるようになる。なお、第 2 実施形態の各変形例において、モニタ用光導波路を伝播するモニタ光を減衰させる必要がある場合には、同様にモニタ用光導波路に減衰部 9 を設ければよい。

【0105】なお、上述の各実施形態及び各変形例では、モニタ用光導波路を通じてモニタ光を取り出す場合にモニタ用 PD を基板の端面に取り付けるようにしているものがあるが、これに限られるものではなく、モニタ用光導波路を導かれるモニタ光の強度に応じて、基板の端面から所定距離だけ離れた位置（例えば筐体）に取り付けるようにしても良い。

〔付記〕

（付記 1）電気光学効果を有する基板と、前記基板上に直列に形成される複数のマッハツェンダ型又は方向性結合器型の光導波路と、前記複数の光導波路毎に独立して設けられる複数の電極と、前記複数の光導波路から出射される光の強度をそれぞれ独立して検出する複数の光検出部とを備えることを特徴とする、光導波路デバイス。

【0106】（付記 2）前記複数の光導波路のそれぞれの出力側に設けられる複数の導波路型カプラと、前記

複数の導波路型カプラの一方のポートに連結される複数のモニタ用光導波路とを備え、前記複数の光検出部が、それぞれ対応するモニタ用光導波路を通じて導かれるモニタ光の強度を検出することを特徴とする、付記 1 記載の光導波路デバイス。

【0107】（付記 3）前記導波路型カプラが 3 dB カプラであり、前記モニタ用光導波路が、前記 3 dB カプラの一方のポートに連結されることを特徴とする、付記 2 記載の光導波路デバイス。

（付記 4）前記導波路型カプラが 1 : N カプラであり、前記モニタ用光導波路が、前記 1 : N カプラの一方のポートに連結されることを特徴とする、付記 2 記載の光導波路デバイス。

【0108】（付記 5）前記 1 : N カプラが、1 : 10 カプラであることを特徴とする、付記 4 記載の光導波路デバイス。

（付記 6）前記複数の光導波路のうちの光導波路の出力側に設けられる 1 又は複数の導波路型カプラと、前記複数の光導波路のうちの他の光導波路の出力側に設けられる 1 又は複数の Y 分岐光導波路と、前記導波路型カプラの一方のポートに連結される 1 又は複数のモニタ用光導波路とを備え、前記複数の光検出部のうちの 1 の光検出部は、対応するモニタ用光導波路を通じて導かれるモニタ光の強度を検出し、他の光検出部は、対応する Y 分岐光導波路の分岐部分から放射された放射光の強度を検出することを特徴とする、付記 1 記載の光導波路デバイス。

【0109】（付記 7）前記複数の光導波路が、いずれも出力側に Y 分岐光導波路を有するマッハツェンダ型光導波路であり、前記複数の光検出部が、対応する前記 Y 分岐光導波路の分岐部分から放射される放射光の強度を検出するように、前記基板の出力側端面の厚さ方向に位置をずらして配設されていることを特徴とする、付記 1 記載の光導波路デバイス。

【0110】（付記 8）前記複数のモニタ用光導波路のうちのモニタ用光導波路が、前記基板の側面まで延びるように形成され、前記複数の光検出部のうちの 1 の光検出部が、前記 1 のモニタ用光導波路から出力される光を検出するように前記基板の側面に設けられていることを特徴とする、付記 2 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の光導波路デバイス。

【0111】（付記 9）前記基板が、リチウムナイオベートにより構成されることを特徴とする、付記 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の光導波路デバイス。

（付記 10）電気光学効果を有する基板と、前記基板上に直列に形成される第 1、第 2 マッハツェンダ型光導波路と、前記第 1 マッハツェンダ型光導波路に設けられ、クロック信号が供給される第 1 信号電極と、前記第 2 マッハツェンダ型光導波路に設けられ、データ信号が供給される第 2 信号電極と、前記第 1 マッハツェンダ型

10

20

30

40

50

光導波路に設けられ、バイアス電圧を印加される第1バイアス電極と、前記第2マッハツェンダ型光導波路に設けられ、バイアス電圧を印加される第2バイアス電極と、前記第1マッハツェンダ型光導波路から出力される光の強度を検出する第1モニタPDと、前記第2マッハツェンダ型光導波路から出力される光の強度を検出する第2モニタPDとを備えることを特徴とする、光変調器。

【0112】（付記11） 前記第1マッハツェンダ型光導波路又は前記第2マッハツェンダ型光導波路の出力側に設けられる3dBカプラと、前記第1マッハツェンダ型光導波路又は前記第2マッハツェンダ型光導波路から出力される光のうち前記3dBカプラによって分岐された光をモニタ光として前記第1モニタPD又は前記第2モニタPDへ導くモニタ用光導波路と、前記モニタ用光導波路を伝播するモニタ光を減衰させる減衰部とを備えることを特徴とする、付記10記載の光変調器。

【0113】（付記12） 電気光学効果を有する基板と、前記基板上に形成される光導波路と、前記光導波路に設けられる電極と、前記光導波路から出力される光の一部をモニタ光として導くモニタ用光導波路と、前記モニタ用光導波路に設けられ、モニタ光を減衰させる減衰部と、前記モニタ用光導波路を通じて導かれ、前記減衰部によって減衰されたモニタ光の強度を検出する光検出部とを備えることを特徴とする、光導波路デバイス。

【0114】（付記13） 前記光導波路が、マッハツェンダ型光導波路であり、前記マッハツェンダ型光導波路の出力側に3dBカプラを備えることを特徴とする、付記12記載の光導波路デバイス。

（付記14） 前記減衰部が、前記モニタ用光導波路を構成する曲率半径を小さくした曲がり導波路によって構成されることを特徴とする、付記12又は13記載の光導波路デバイス。

【0115】（付記15） 前記減衰部が、前記モニタ用光導波路を構成する2つ以上の分岐部によって構成されることを特徴とする、付記12又は13記載の光導波路デバイス。

（付記16） 前記減衰部が、前記モニタ用光導波路を構成する1:Nカプラによって構成されることを特徴とする、付記12又は13記載の光導波路デバイス。

【0116】（付記17） 前記減衰部が、前記モニタ用光導波路の端部付近に設けられるビーム拡大部によって構成されることを特徴とする、付記12～16のいずれか1項に記載の光導波路デバイス。

（付記18） 前記モニタ用光導波路の端部付近にビーム拡大部を備えることを特徴とする、付記12～16のいずれか1項に記載の光導波路デバイス。

【0117】（付記19） 前記ビーム拡大部が、前記モニタ用光導波路の端部を前記基板の端面又は側面から所定距離の位置とすることによって構成されることを特

徴とする、付記17又は18記載の光導波路デバイス。

（付記20） 前記ビーム拡大部が、前記モニタ用光導波路の端部を2分岐させることによって構成されることを特徴とする、付記17又は18記載の光導波路デバイス。

【0118】（付記21） 電気光学効果を有する基板と、前記基板上に直列に形成される複数のマッハツェンダ型又は方向性結合器型の光導波路と、前記複数の光導波路毎に独立して設けられる複数の電極と、前記複数の光導波路から出射される光の強度をそれぞれ独立して検出する複数の光検出部と、前記複数の光検出部のうちの1つの光検出部で検出された光の強度に基づいて、前記1つの光検出部に対応する前記光導波路に設けられる前記電極に印加されるバイアス電圧を制御するバイアス制御部とを備えることを特徴とする、光導波路デバイス。

【0119】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明の光導波路デバイス及び光変調器によれば、モニタ用光導波路を介してモニタ光を取り出すため、モニタ光を正確、かつ確実に検出でき、また、モニタ用光導波路に減衰部を設け、減衰部によって減衰されたモニタ光を光検出部で検出するため、光検出部として採用しうる部品の選択の幅が広がり、また、バイアス制御に用いるのに適正な強度のモニタ光が得られるという利点がある。

【0120】また、本発明の光導波路デバイス及び光変調器によれば、複数のマッハツェンダ型又は方向性結合器型の光導波路を備える光変調器において、それぞれの光変調器毎に設けられた光検出部によって、それぞれ独立にモニタ光を検出し、これに基づいてバイアス制御を行なうため、バイアス制御を容易、かつ、正確に行なえるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態にかかる光導波路デバイスとしての光変調器の全体構成を示す模式図である。

【図2】本発明の第1実施形態にかかる光導波路デバイスとしての光変調器に備えられる減衰部の構成例を模式的に示す拡大図である。

【図3】本発明の第1実施形態にかかる光導波路デバイスとしての光変調器に備えられる減衰部の他の構成例を模式的に示す拡大図である。

【図4】本発明の第1実施形態にかかる光導波路デバイスとしての光変調器に備えられる減衰部の他の構成例を模式的に示す拡大図である。

【図5】本発明の第1実施形態にかかる光導波路デバイスとしての光変調器に備えられる減衰部の他の構成例を模式的に示す拡大図である。

【図6】本発明の第1実施形態にかかる光導波路デバイスとしての光変調器に備えられる減衰部の他の構成例を模式的に示す拡大図である。

【図7】本発明の第1実施形態にかかる光導波路デバイ



スとしての光変調器に備えられる減衰部の他の構成例を模式的に示す拡大図である。

【図 8】本発明の第 1 実施形態にかかる光導波路デバイスとしての光変調器に備えられる減衰部の他の構成例を模式的に示す拡大図である。

【図 9】本発明の第 1 実施形態にかかる光導波路デバイスとしての光変調器に備えられる減衰部の他の構成例を模式的に示す拡大図である。

【図 10】本発明の第 1 実施形態にかかる光導波路デバイスとしての光変調器における信号光及びモニタ光の光出力を示す図である。

【図 11】本発明の第 2 実施形態にかかる光導波路デバイスとしての R Z 光変調器の全体構成を示す模式図である。

【図 12】本発明の第 2 実施形態の第 1 変形例にかかる光導波路デバイスとしての R Z 光変調器の全体構成を示す模式図である。

【図 13】本発明の第 2 実施形態の第 2 変形例にかかる光導波路デバイスとしての R Z 光変調器の全体構成を示す模式図である。

【図 14】本発明の第 2 実施形態の第 3 変形例にかかる光導波路デバイスとしての R Z 光変調器の全体構成を示す模式図である。

【図 15】本発明の第 2 実施形態の第 4 変形例にかかる光導波路デバイスとしての R Z 光変調器の全体構成を示す模式図である。

【図 16】本発明の第 2 実施形態の第 5 変形例にかかる光導波路デバイスとしての R Z 光変調器の全体構成を示す模式図である。

【図 17】本発明の第 2 実施形態の他の変形例にかかる光導波路デバイスとしての R Z 光変調器の全体構成を示す模式図である。

【図 18】バイアス制御に用いられるモニタ光をモニタ用光導波路を用いて取り出す方法について説明するための図である。

【図 19】モニタ用光導波路を用いてモニタ光を取り出す場合の課題を説明するための図であって、信号光及びモニタ光の光出力を示す図である。

【図 20】R Z 光変調器におけるバイアス制御を説明するための図である。

#### 【符号の説明】

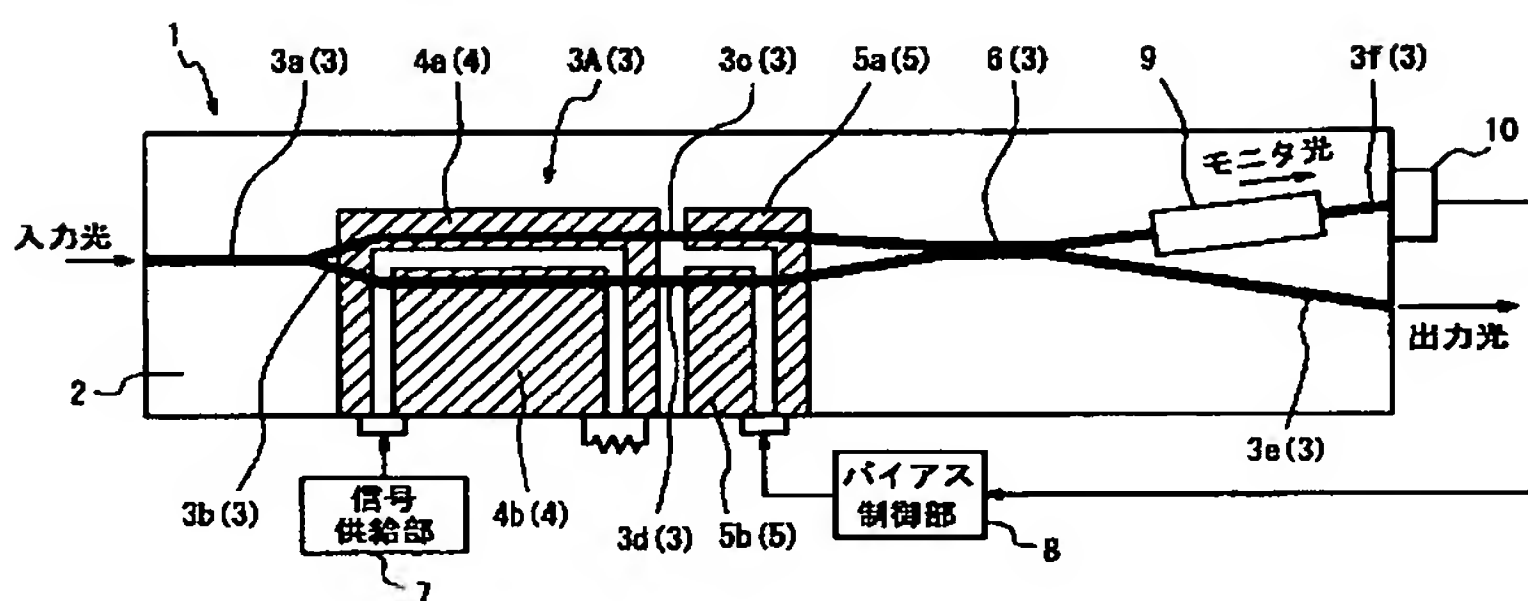
- 1 MZ 型 LN 光変調器
- 2 基板
- 2 A 端面
- 3 A 光導波路 (MZ 型光導波路)
- 3 光導波路
- 3 a 入力側光導波路
- 3 b Y 分岐光導波路
- 3 c, 3 d 直線状光導波路
- 3 e 出力側光導波路

- 3 f モニタ用光導波路
- 3 g 直線状光導波路
- 3 h 2 分岐光導波路
- 4 主電極
- 4 a 信号電極
- 4 b 接地電極
- 5 バイアス電極
- 5 a 電極
- 5 b 接地電極
- 6 3 dB カプラ (導波路型カプラ)
- 7 データ信号供給部 (信号供給部)
- 8 バイアス制御部
- 9 減衰部
- 9 a 曲がり導波路
- 9 b 分岐光導波路 (複数の分岐光導波路, 多分岐光導波路)
- 9 c 1 : N カプラ
- 9 d ビーム拡大部
- 10 モニタ PD (フォトディテクタ, バイアス制御用モニタ PD, 光検出部)
- 20 R Z 光変調器
- 21, 41 マッハツェンダ型光変調器 (MZ 型 LN 光変調器)
- 22 基板
- 23 第 1 光導波路
- 23 b, 23 c 直線状光導波路
- 23 d モニタ用光導波路
- 24 第 2 光導波路
- 24 a Y 分岐光導波路 (分岐光導波路)
- 24 b, 24 c 直線状光導波路
- 24 d モニタ用光導波路
- 25 第 1 電極 (主電極)
- 25 a 信号電極
- 25 b 接地電極
- 26 第 1 バイアス電極
- 26 a 電極
- 26 b 接地電極
- 27 第 2 電極 (主電極)
- 27 a 信号電極
- 27 b 接地電極
- 28 第 2 バイアス電極
- 28 a 電極
- 28 b 接地電極
- 29 a 3 dB カプラ (導波路型カプラ)
- 29 b 3 dB カプラ (導波路型カプラ)
- 29 c 3 dB カプラ (導波路型カプラ)
- 30 入力側光導波路
- 31 中間光導波路
- 32 出力側光導波路
- 50 33 クロック信号供給部 (信号供給部)

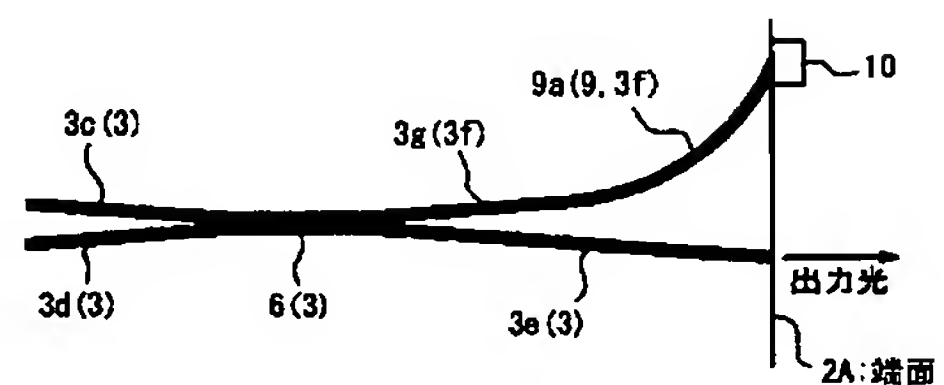
34 NRZデータ信号供給部（信号供給部）  
 35 第1バイアス制御部  
 36 第2バイアス制御部  
 37 第1モニタPD（光検出部）  
 38 第2モニタPD（光検出部）  
 60, 70, 80, 90 RZ光変調器  
 61, 71, 72, 73, 81, 83, 91, 93 Y  
 分岐光導波路  
 82, 84, 92, 94 1:Nカプラ（例えば1:1  
 0カプラ, 導波路型光カプラ）  
 95 可変減衰器

96 光導波路  
 96a, 96d Y分岐光導波路  
 96b, 96c 直線状光導波路  
 97 電極  
 98 バイアス電極  
 99 1:Nカプラ（例えば1:10カプラ, 導波路型  
 光カプラ）  
 100 第3モニタ用光導波路  
 101 第3モニタPD（光検出部）  
 10 102 Y分岐光導波路

【図1】

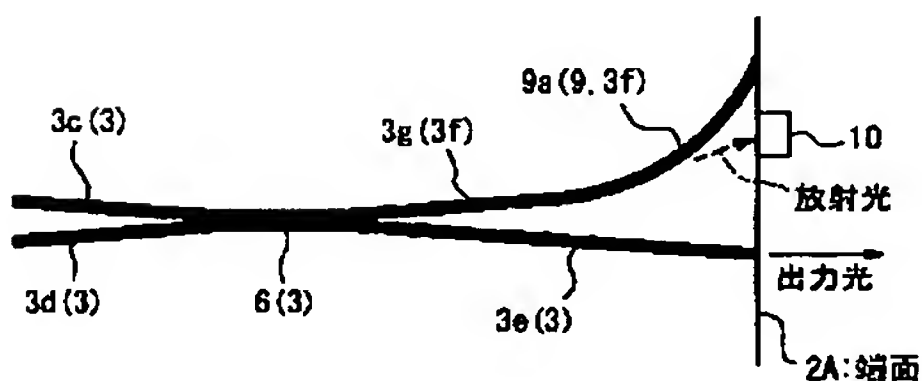


【図2】

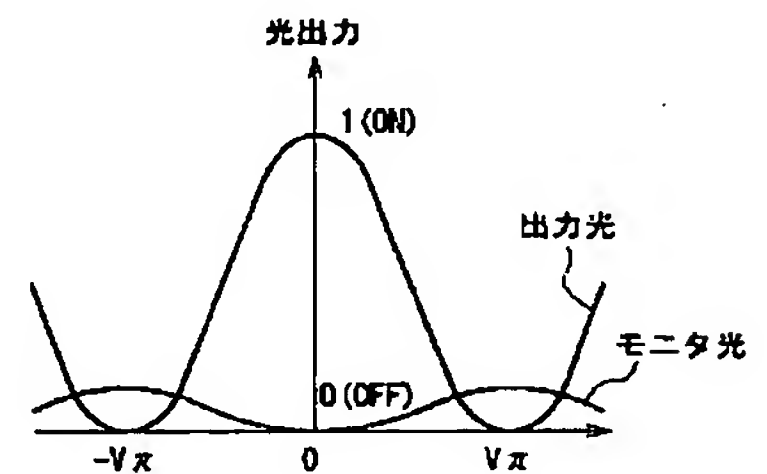
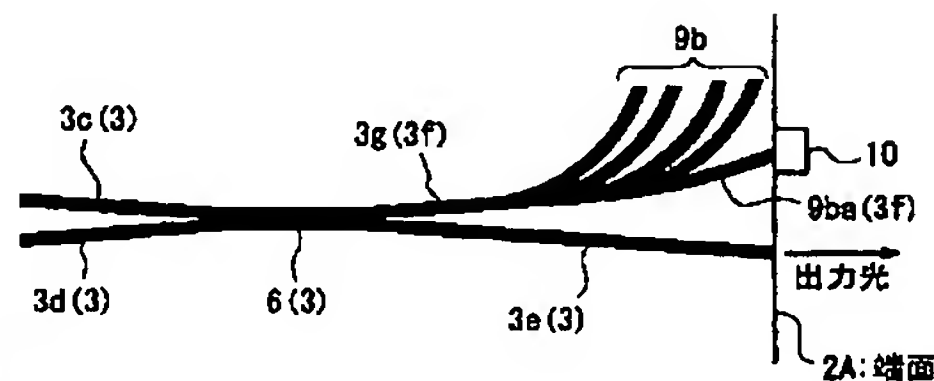


【図10】

【図3】

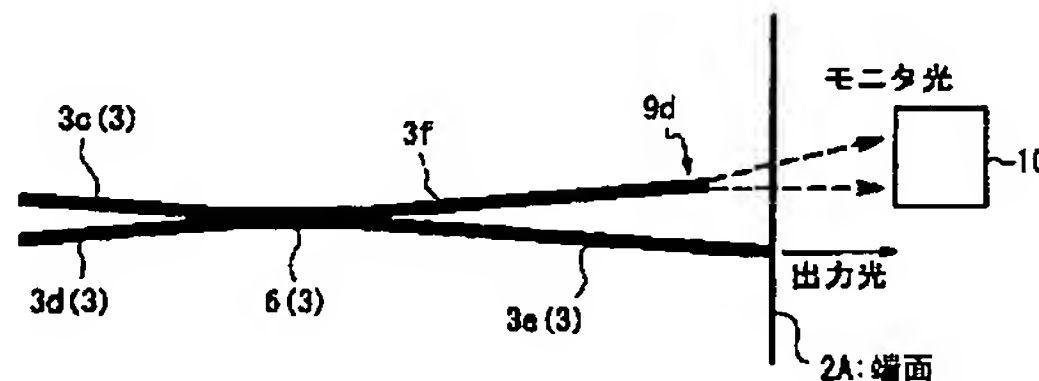
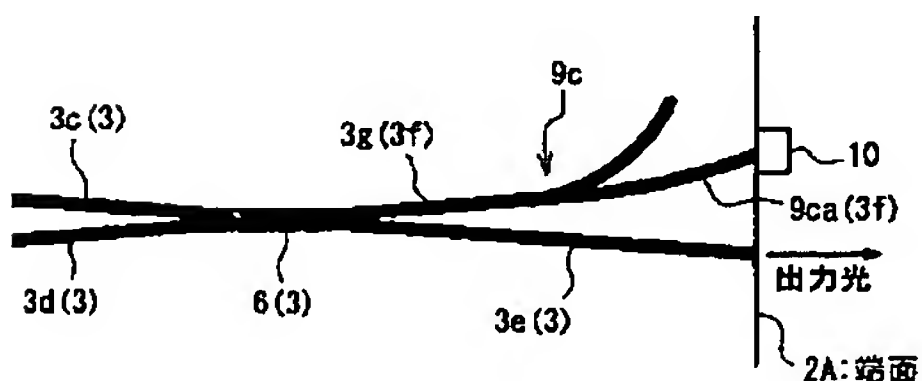


【図4】



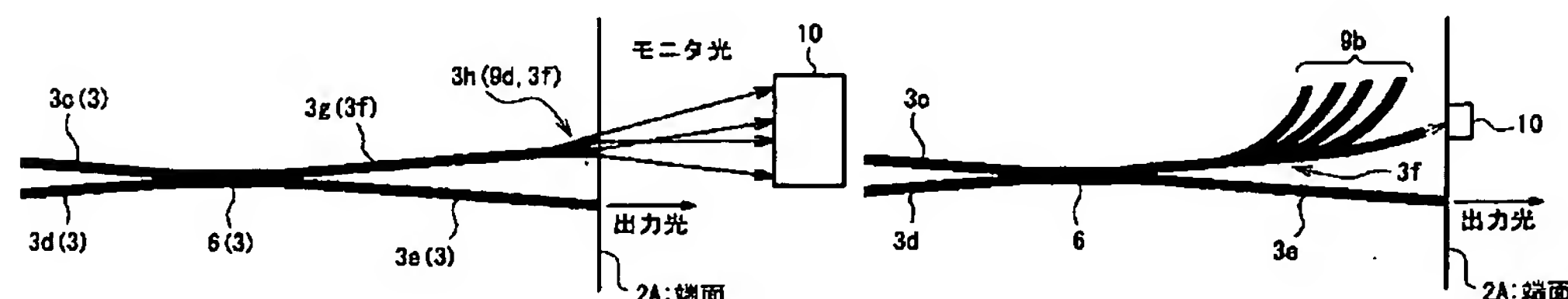
【図5】

【図6】



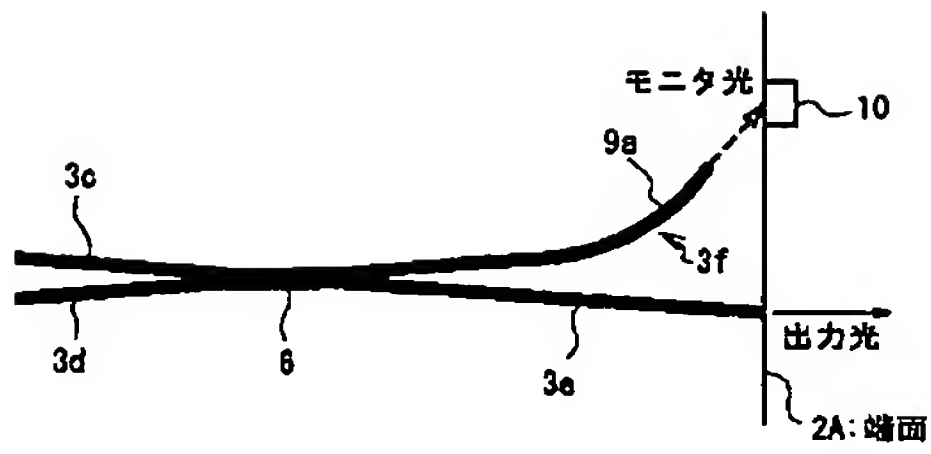
【図7】

【図9】

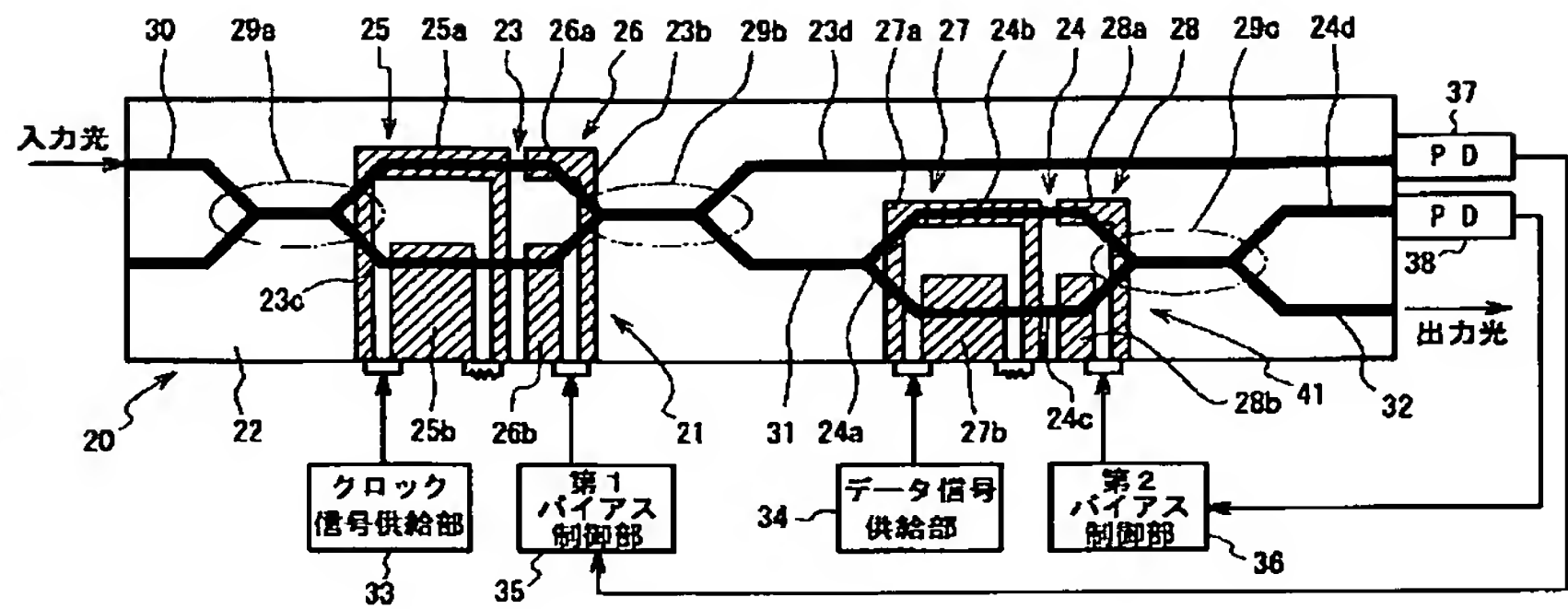




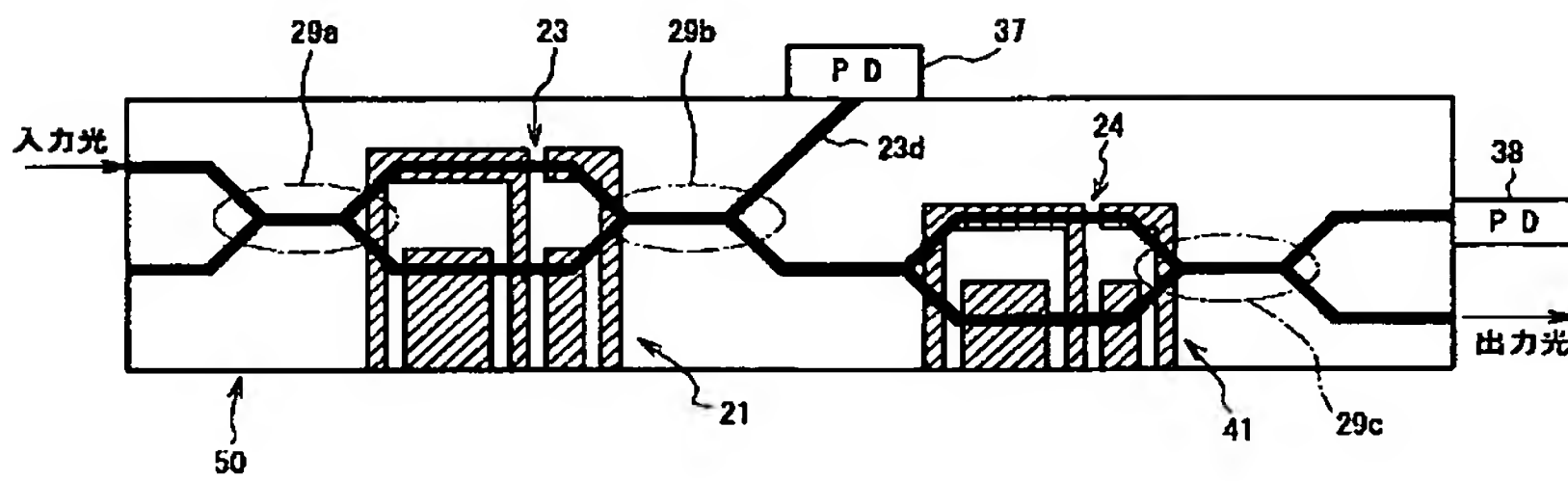
【図 8】



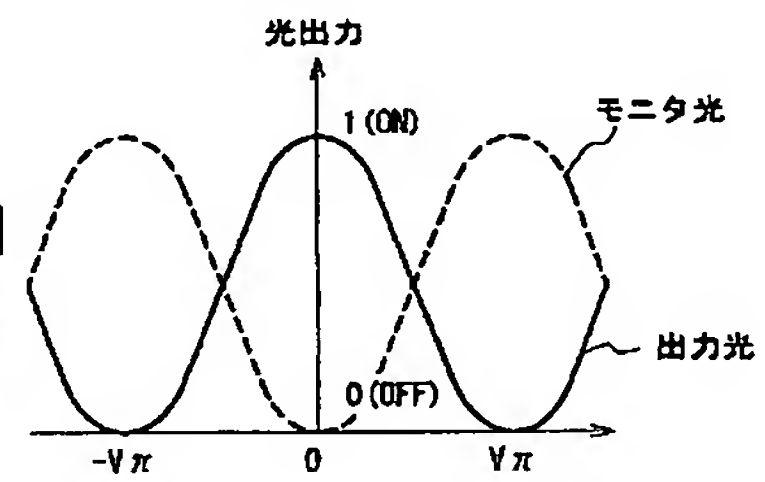
【図 11】



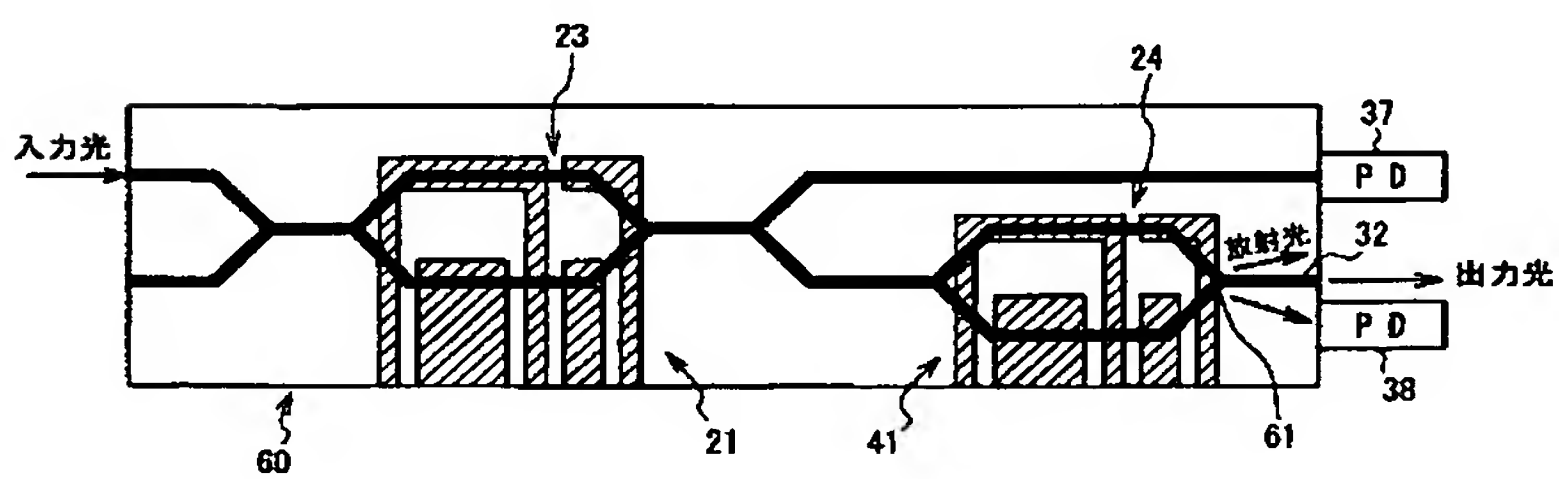
【図 12】



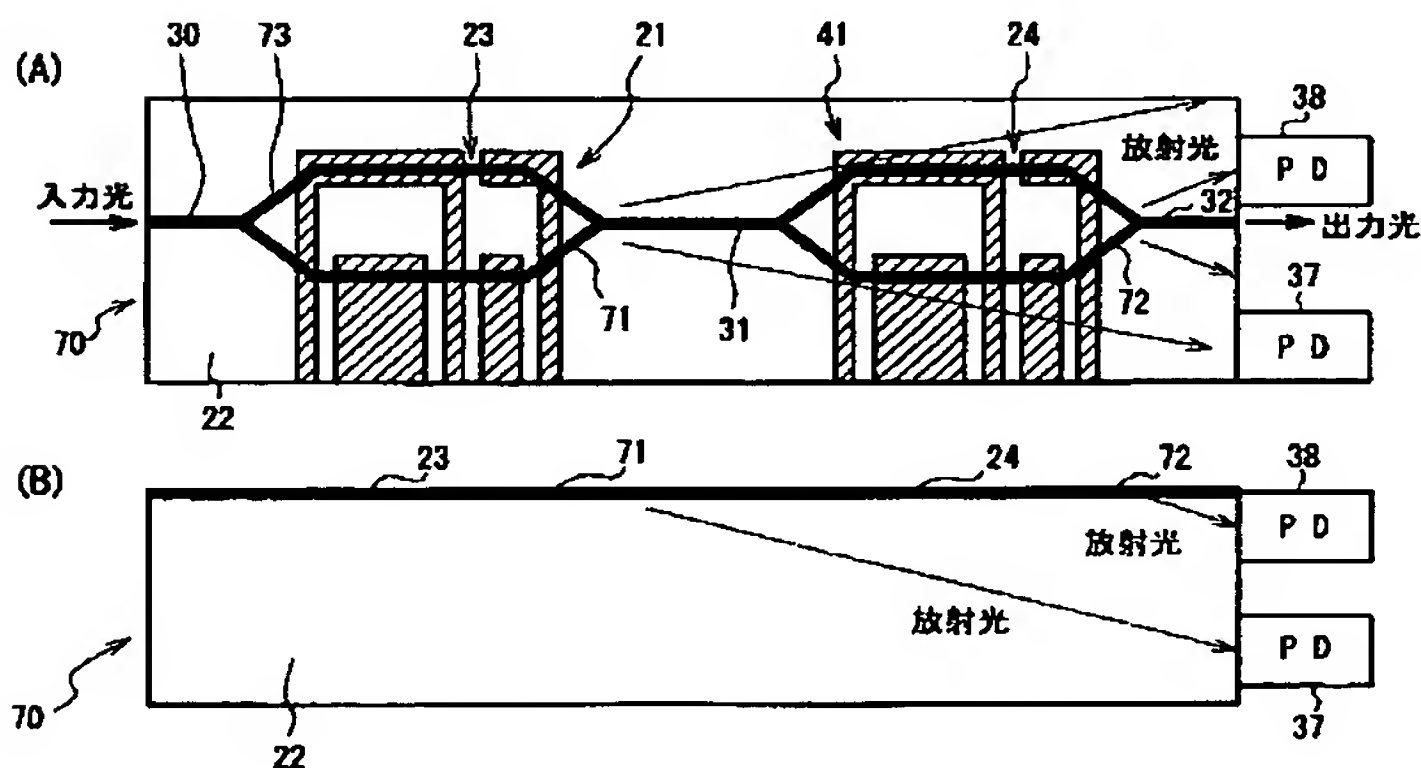
【図 19】



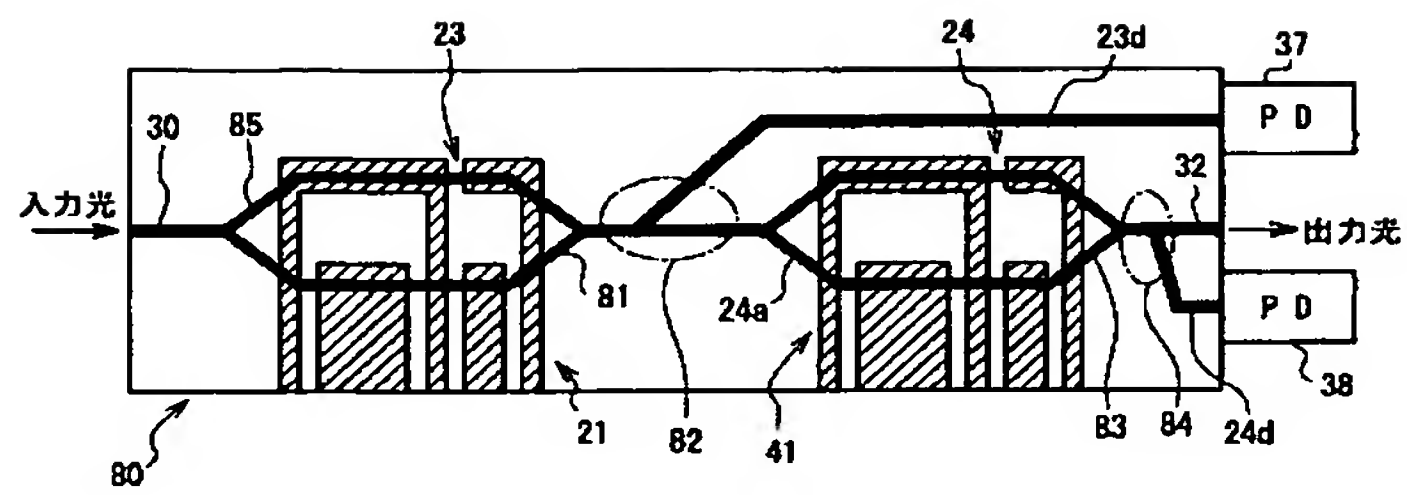
【図 13】



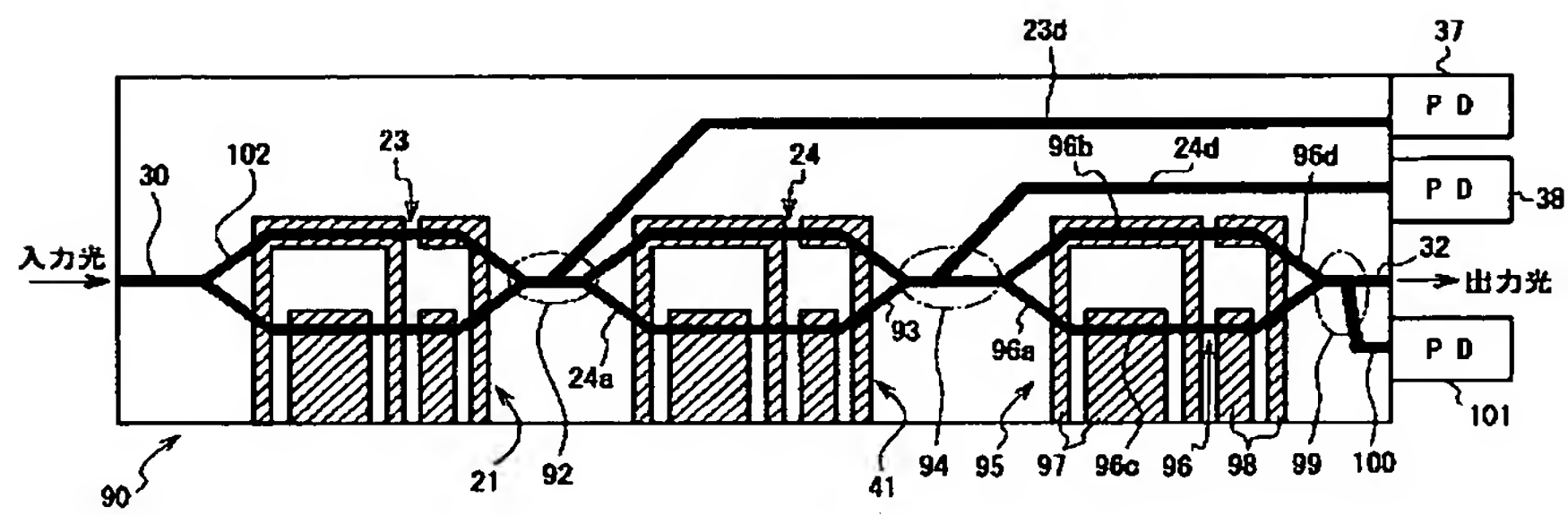
【図 14】



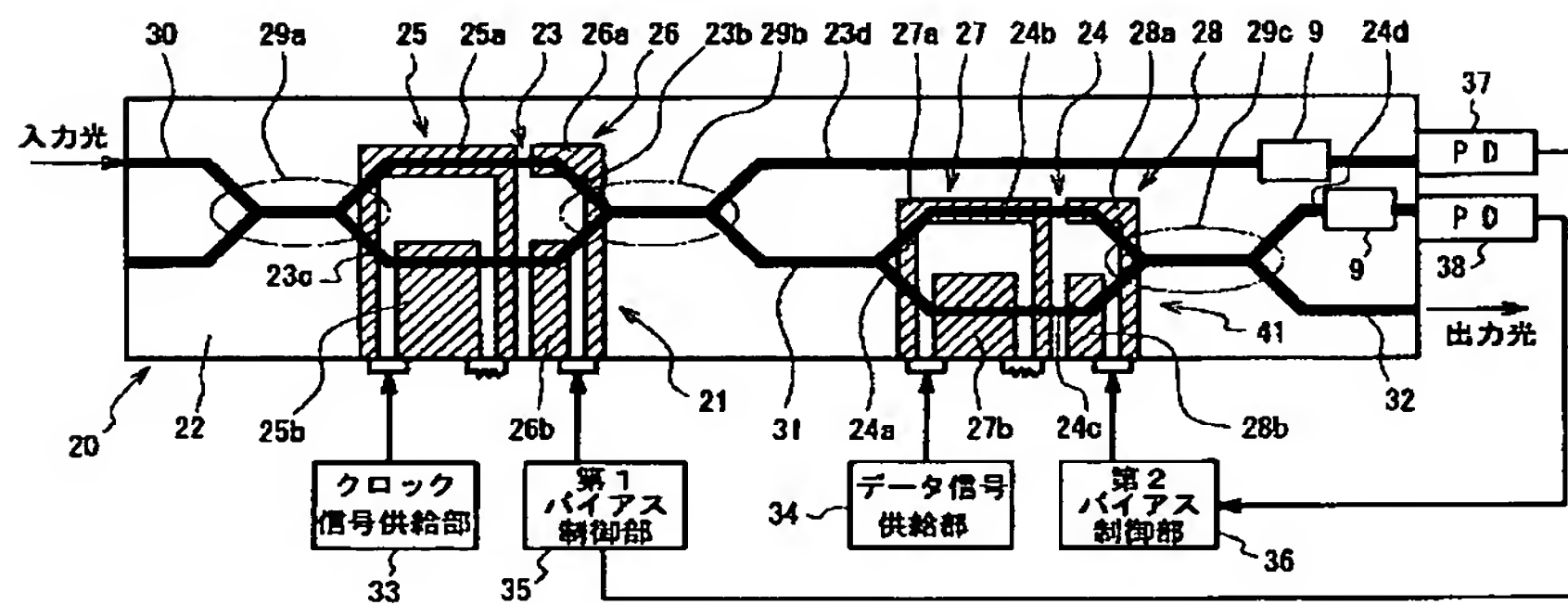
【図 15】



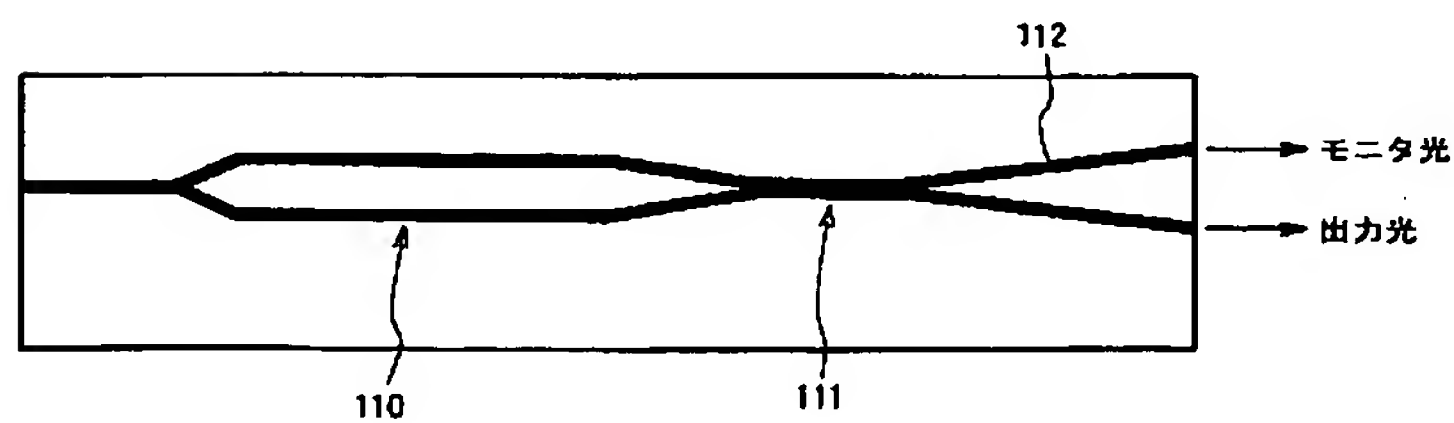
【図 16】



【図 17】

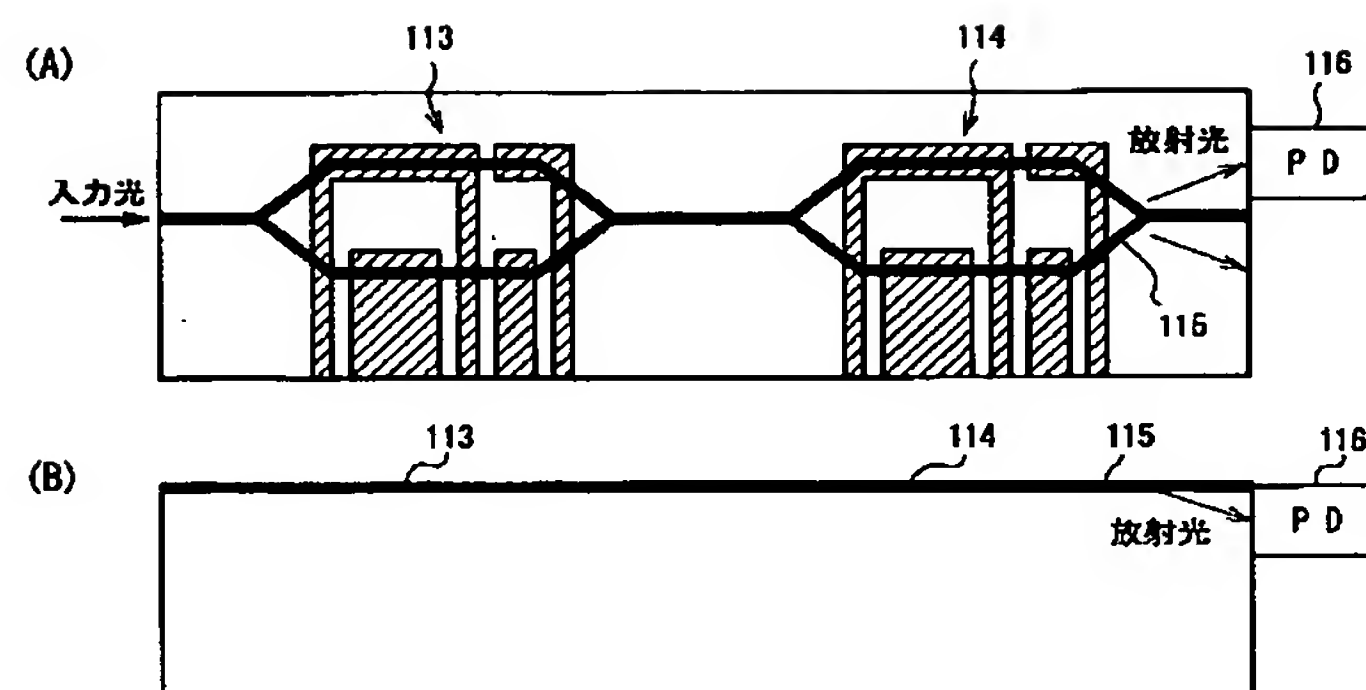


【図 18】





【図 20】



フロントページの続き..

(72)発明者 中澤 忠雄  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 2H047 KA03 KA12 KB04 LA12 NA02  
QA03 QA04 RA08  
2H079 AA02 AA12 BA01 BA03 CA05  
DA03 EA04 EA05 FA01 KA19